



PROYECTO MINA DE COBRE PANAMÁ

ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL (EsIA) CATEGORÍA III

INFORME DEL PROGRAMA DE MONITOREO DE EFECTOS AMBIENTALES: ECOSISTEMAS MARINO COSTERO

Compromisos de EsIA Aplicables	Periodo reportado	Elaborado por	Fecha de Emisión del Reporte
13107 13217 13234	Estacion Seca 2021	ENVIROMENTAL ENGINEERING SCIENCE INTERNATIONAL	Julio 2021



MINERA PANAMÁ

MONITOREO DE ECOSISTEMAS MARINO-COSTEROS EN MINERA PANAMÁ INFORME DEL MONITOREO DE MARZO DE 2021



EES ENVIRONMENTAL
ENGINEERING
SCIENCE
INTERNATIONAL

OFICINA Y LABORATORIO: ANCON. Avda. Morgan, Dúplex 301-A Ciudad de Panamá. República de Panamá



PRESENTACIÓN

La empresa MINERA PANAMÁ ha encargado a la consultora ambiental independiente EES INTERNATIONAL, SA, el monitoreo de los ecosistemas marino-costeros en el mes de marzo del año 2021 frente al puerto de Punta Rincón propiedad de Minera Panamá.

Ciudad de Panamá, 22 de julio de 2021

Responsable del Informe Técnico

Dr Fernando J. Mariño Fernández

Rev. Nº	Motivo modificación	Aprobado por	Fecha entrega
1	Edición original	Dr Fernando Mariño	22-07-21

Nº PEDIDO: MINERA PANAMA 1824 - 619328

AMBITO DE LA INSPECCION: REGLAMENTARIO. NO SE HA OMITIDO NINGUN ASPECTO DEL AMBITO ORIGINAL DEL TRABAJO.

IDENTIFICACION DEL ITEM INSPECCIONADO: AGUAS MARINAS LITORALES.

CONDICIONES GENERALES: EL CONTENIDO DEL PRESENTE INFORME DE INSPECCION SE HA AJUSTADO A LO ESTABLECIDO EN LAS NORMA ISO/IEC 17020 Y/O ISO 9001.

LA INSPECCION Y MONITOREO SE HA REALIZADO SEGÚN ESPECIFICACIONES RECOGIDAS EN LAS INSTRUCCIONES DEL SGC DE EES INTERNATIONAL, SA, CON REGISTROS PRIMARIOS DE LAS MEDIDAS INCLUIDOS EN EL CUADERNO DE CAMPO DEL EQUIPO.

- 1) El presente informe es copia fiel del original que mantiene EES INTERNATIONAL, SA
- 2) Los resultados obtenidos sólo afectan a las muestras ensayadas.
- 3) El presente informe no debe ser reproducido ni total ni parcialmente sin la autorización expresa del responsable Técnico de EES INTERNATIONAL, SA o de MINERA PANAMÁ.

LOS RESULTADOS DE LA PRESENTE INSPECCION SE REFIEREN EXCLUSIVAMENTE AL PEDIDO REALIZADO.

DESIGNACION DEL DOCUMENTO: ESTUDIO ECOSISTEMAS MARINO-COSTEROS INFORME MARZO 2021 220721

IDENTIFICACION DE LA VERSIÓN DEL DOCUMENTO: 220721

AUTORÍA DEL DOCUMENTO: TODOS LOS TEXTOS, FOTOS, FIGURAS, GRÁFICOS, ETC INCLUIDOS EN EL PRESENTE INFORME HAN SIDO ELABORADOS POR EL EQUIPO TÉCNICO DE EES INTERNATIONAL, SA, SIENDO EL RESPONSABLE ÚLTIMO DE SU ALCANCE Y CONTENIDO EL DIRECTOR TÉCNICO DE EES INTERNATIONAL, SA. EES INTERNATIONAL, SA ESTÁ A DISPOSICIÓN DEL QUE LO SOLICITE PARA AMPLIAR O ACLARAR CUALQUIER ASPECTO RELACIONADO CON EL INFORME, ASÍ COMO LA ENTREGA DE ESTOS DOCUMENTOS EN FORMATO ORIGINAL BAJO LA AUTORIZACIÓN EXPRESA DE MINERA PANAMÁ.



ÍNDICE

RESUMEN EJECUTIVO

1.	<u>INTRODUCCIÓN</u>	1
2.	<u>OBJETIVOS DE LA CONSULTORÍA</u>	3
3.	<u>METODOLOGÍA DE LOS TRABAJOS</u>	4
3.1.	Sitios de monitoreo y actividades realizadas	4
3.2.	Monitoreo de hábitats rocosos (comunidades fondos duros)	7
3.3.	Monitoreo de biología marina (comunidades fondos blandos y peces)	8
3.4.	Monitoreo de rompeolas	9
4.	<u>RESULTADOS MARINO-COSTEROS</u>	12
4.1.	Hábitats de fondos duros	12
4.2.	Hábitats de fondos blandos	28
4.3.	Estudio de la comunidad de peces	36
5.	<u>RESULTADOS DEL ESTUDIO DEL ROMPEOLAS</u>	44
5.1.	Estudio de fondos duros	44
5.2.	Estudio de la comunidad de peces	47
6.	<u>RESULTADOS DEL ESTUDIO DE ICTIOPLANCTON EN EL INTAKE</u>	50
7.	<u>ANÁLISIS DE INDICADORES AMBIENTALES</u>	52
8.	<u>RESUMEN Y CONCLUSIONES</u>	55
9.	<u>BIBLIOGRAFÍA</u>	58



RESUMEN EJECUTIVO

El objetivo principal de la presente consultoría es continuar con el Plan de Monitoreo de Ecosistemas Marino-Costeros iniciado en el año 2015, mediante un Programa de Monitoreo de Efectos Ambientales (EEM por sus siglas en inglés) dirigido a asegurar que los controles ambientales y otras medidas de mitigación sean efectivas para la protección de la viabilidad de los ecosistemas marinos en el entorno de las operaciones de la mina y el puerto.

Se presentan en este Informe los resultados del monitoreo completado los días 23 al 28 del mes de marzo de 2021, con el fin de conocer cómo evolucionan los indicadores ambientales en el tiempo desde el año 2015 (considerada la línea base) y su grado potencial de afectación por las actividades de la mina y el puerto.

Desde el punto de vista metodológico, se han seguido protocolos estándares para el monitoreo y análisis de los elementos ambientales, y similares a los empleados en los monitoreos de los años anteriores. Para este primer monitoreo del año 2021, el estudio se ha centrado solo en los indicadores biológicos, es decir, comunidades biológicas de fondos duros y blandos y peces.

El diseño original de los emplazamientos de cada sitio realizado en el año 2015 dependió del establecimiento de sitios de monitoreo cercanos al proyecto (Punto de Monitoreo Cercano, PMC), sitios de monitoreo lejano (Punto de Monitoreo Lejano, PML) y sitios de monitoreo de referencia (REF) que son áreas no influenciadas por el proyecto. De esta forma, para el monitoreo del año 2017 se emplearon los mismos sitios de monitoreo que en años anteriores, con excepción del rompeolas que se incluyeron dos sitios adicionales en el extremo y la parte interior del mismo:

- R3 y R33 representativo de zonas profundas lejanas
- R12, R15, R18 y Caimito Este de zonas someras cercanas y referencia
- Dos puntos adicionales (T1 y T2) próximos al muelle de descarga de carbón y carga de materiales
- RO1 a RO7, siete (7) sitios adicionales en el rompeolas.

De esta forma, se ha continuado con la aplicación de los índices e indicadores ambientales establecidos en MINERA PANAMÁ, centrando los trabajos en este primer monitoreo en los indicadores biológicos (bentos de fondos duros y blandos y peces), con el fin de conocer cómo evolucionan en el tiempo desde el año 2015 (considerada la línea base) y su grado de afectación por las actividades de la mina y el puerto.

Desde el punto de vista metodológico, se han seguido protocolos estándares para el monitoreo y análisis de los elementos ambientales considerados y han sido similares a los empleados en los monitoreos de años anteriores (2015, 2016, 2017, 2018, 2019 y 2020).

Para el estudio de las comunidades de fondos duros se emplearon buceadores profesionales (equipados con cámaras fotográficas y de vídeo submarino), que en diferentes transectos lineales establecidos en cada sitio -y sobre la base de datos tomados con cuadrantes- se determinó, entre otros, la cobertura de corales y otros organismos y grupos biológicos mediante



el programa CPCe (Coral Point Count con extensiones de Excel) desarrollado por la Nova Southeastern University (Florida, USA).

Por su parte, para el estudio de los fondos blandos, se tomaron muestras de sedimento con buceadores y dragas y se completó el estudio del bentos marino infaunal. El estudio de peces se realizó con apoyo de buceadores profesionales y siguiendo el método del transepto en cada sitio de monitoreo, apoyado en buceos aleatorios en las proximidades del transepto en función de los diferentes hábitats submarinos.

Durante este monitoreo del año 2021 se continuaron con los monitoreos en el rompeolas a siete sitios, en los que se realizaron los mismos monitoreos que en fondos duros y comunidades de peces y siguiendo la misma metodología descrita anteriormente.

Se tomaron muestras de ictioplancton en el intake o toma de agua de refrigeración para la central térmica del puerto, en dos arrastres verticales con red de 500 micras para el estudio cuantitativo de huevos y larvas de peces.

El conjunto de monitoreos lo realizó un equipo de cuatro técnicos cualificados, más el patrón del bote, siguiendo los procedimientos estipulados en los TdR de la consultoría y normas de calidad UNE/EN/ISO 17020 y 17025. Para optimizar el trabajo, las tareas fueron divididas entre los técnicos, realizando dos de ellos (con títulos de buceadores profesionales) el monitoreo de elementos biológicos. En todos los monitoreos, se contó con un paramédico y buceador de apoyo, siguiendo los mayores estándares de seguridad y salud en el trabajo, así como las normas de bioseguridad en relación con la pandemia del COVID-19.

Los fondos duros profundos ubicados frente a Punta Rincón, poseen un sustrato rocoso variable entremezclado con arena. Las zonas profundas se caracterizan por poseer menor penetración de la luz y moderada turbidez, lo que limita el crecimiento de ciertas especies y contribuye al desarrollo de otras como esponjas y colonias de corales. Por su parte, los fondos duros someros se caracterizan por presentar una alternancia de sustratos duros y parches de arena y una mayor penetración de la luz, aunque están expuestos de forma más intensa a la acción del oleaje y los aportes de agua dulce del continente o los procesos sedimentarios.

Las comunidades de fondos duros en los dos sitios profundos (R3 y R33) son muy similares, predominando el grupo de las esponjas y seguido de los corales adaptados a las condiciones oceanográficas de este tipo de hábitats. En principio, el sitio R3 ha contado con mayor número de especies (especialmente corales), pero sin ser una diferencia significativa. Entre las especies registradas se puede mencionar como dominantes a las especies *Agaricia agaricites*, *Agaricia undata* y *Siderastrea siderea*. Se trata de especies señaladas como pioneras en cuanto a la colonización de arrecifes de corales, por ser especies típicas de fases en reclutamiento.

Los fondos duros someros (R12, R15 y R18) presentan comunidades muy parecidas entre sí y diferentes de los fondos duros profundos. Entre los corales destacan *Agaricia agaricites*, *Siderastrea siderea* y principalmente *Porites astreoides*. Entre las esponjas las principales especies identificadas han sido el género *Aplysia*.



Las gorgóneas o corales blandos o falsos corales de los sitios de monitoreo en fondos duros profundos y someros fueron muy parecidas, destacando las especies *Pseudopterogorgia americana* y *Pseudopterogorgia acerosa* fueron las más representativas.

Los sitios T1 y T2 presentan un sustrato dominado mayoritariamente (100%) por las arenas finas a medias, en las que no se han registrado especies típicas de fondos duros, con la ausencia de corales y otras formaciones biológicas de interés.

Tanto en los fondos duros someros, como profundos se han registrado con menor cobertura algas y algas coralinas. En los fondos profundos destacan -en cuanto a dominancia y diversidad de especies- las algas rojas (Rodofitas), como *Amphiroa fragilissima* y *A. rigida*, junto a éstas se encuentran *Dictyota menstrualis* y *Halimeda tuna*, que contribuyen a la formación calcárea del fondo rocoso de esta zona. En los fondos someros destacan las algas *Halimeda tuna*, *Amphiroa fragilissima*, *Chondrophycus papillosus*, *Dictyota menstrualis*, *Padina pavonica* y *Galaxaura obtusata*.

El grupo de las otras formas de vida y los desconocidos conformados por especies de invertebrados marinos, se pueden mencionar las especies como Ascidiar, langosta *Panillurus argus*, poliquetos como *Spirobranchus giganteus*, *Echinometra lucunter*, y el Crinoideo *Nemaster grandis*.

En los fondos blandos, los moluscos resultaron ser el grupo más dominante con 36 taxones registrados y con la dominancia de las especies del género *Cerithium sp.* Dentro de los Poliquetos -segundo grupo en importancia y relevancia-, se registraron cinco taxones, en las que destacan las familias Onuphidae y Glyceridae característicos de fondos blandos y someros. El género *Glycera sp* son poliquetos, que se caracteriza por ser predadora de otras especies y se alimenta de micromoluscos habitando en fondos blandos con alto contenido de materia orgánica. Además, Onuphidae, es una especie que se encuentra en fondos blandos y que pueden resistir a cambios de inestabilidad de los fondos y rico en materia orgánica (Morales et al., 2003).

Los Sipunculidos -considerados como anélidos- son un grupo especial y muy poco estudiado y ha representado el 3,8% del total de organismos registrados; se encuentran solos o adheridos a conchas muertas. Su distribución puede alcanzar desde unos pocos metros hasta fondos muy profundos (abisales) (Ferrero-Vicente, et al., 2011). Los Crustáceos estuvieron representados por Anfipodos, Mysis y juveniles de cangrejos, colectados de manera fortuita ya que sus formas juveniles y adultas son zooplanctónicas y se distribuyen en la columna de agua. Durante este monitoreo no se registraron equinodermos.

Los peces registraron una diversidad y composición similar en todos los sitios de estudio. Por ello se puede inferir que las condiciones actuales de los fondos profundos y someros son favorables para la comunidad ictiológica presente en estos sitios, donde juega un papel importante en los procesos de transferencia de energía, materia e información a través de las cadenas tróficas. No se han observado efectos sobre los peces debido a las actividades de la mina o del puerto de Punta Rincón.



En los fondos duros someros, se registraron un total de 199 individuos; pertenecientes a 21 especies, distribuidas en 16 familias. De estas especies, 60 ind/m² fueron observadas asociadas al sitio R12, 65 ind/m² al sitio R15, 60 ind/m² al sitio R18, 10 ind/m² al sitio T1 y 4 ind/m² al sitio T2. Todos los peces observados fueron óseos (Osteichthyes).

Las especies más abundantes observadas fueron *Kyphosus sectatrix* (7-8%) y *Carangoides bartholomaei* (7-8%), seguidos del género *Acanthurus* (7-8% para cada especie de este género). En los sitios T1 y T2 se registraron muy pocas especies, solo con la presencia muy esporádica de *Bodianus rufus* y *Pomacanthus paru* (50%) en T1 y solo *Stegastes variabilis* en T2. En estos sitios, la especie *Canthigaster rostrata* (Bloch, 1786) fue muy poco abundante y con bajas densidades, estando ausente en T1 y T2.

Teniendo en cuenta los resultados del monitoreo de marzo del año 2021, los peces registraron una diversidad y composición similar en todos los sitios de estudio. Por lo que se puede inferir, que las condiciones actuales de los fondos profundos y someros son favorables para la comunidad ictiológica presente en estos sitios, donde juega un papel importante en los procesos de transferencia de energía, materia e información a través de las cadenas tróficas. No se han observado efectos debido a las actividades de operación/construcción de la Mina o del puerto de Punta Rincón.

La disminución de la riqueza (nº especies e individuos), así como de la cantidad de individuos e incremento del tamaño de las especies observadas, coinciden con lo observado en diversas latitudes del Caribe, en las cuales la mayor cantidad y diversidad de individuos de menor tamaño, se encuentran en las áreas costeras poco profundas, por ser estas zonas de crecimiento y desarrollo de dichas especies.

Por su parte, hacia las aguas más profundas, aparecen especies de mayor tamaño, pero con menor diversidad y número de individuos, pues en estas áreas se registran principalmente especies adultas. Tanto el número como la variabilidad de especies observadas en las aguas profundas fueron mucho más bajas que la observada en los fondos duros someros.

A partir de los resultados obtenidos, se puede concluir que lo observado representa el estado actual y normal de las poblaciones de peces de los fondos profundos y someros con diferentes hábitats; ya que en dichos lugares no se ha desarrollado una sobrepesca u otros efectos de origen antrópico que pudiera afectarlos, como lo que ha ocurrido en otras áreas del Caribe de Panamá (Jácome, 2001).

La abundancia relativa del pez león en el presente monitoreo fue de 7-8% para el fondo somero y de 0,1% para el fondo profundo, aunque en este caso hay que destacar la gran influencia porcentual del tamboril en los recuentos. Se observa, con respecto a años anteriores, que la especie se mantiene en los porcentajes y densidades, con pequeñas variaciones. A partir de los datos ya disponibles, se puede adelantar que la especie ha llegado a un tamaño poblacional más o menos definido, aunque pueden variar los efectivos entre estaciones debido a factores externos (alimento, depredación, etc).



Se ha registrado una progresiva colonización por grupos biológicos de las rocas del rompeolas en su parte más externa que parece se va afianzando con el tiempo –como así se observó en monitoreos anteriores-, con la presencia de corales y primeras formas de esponjas. En la parte interna, menos expuesta y dentro de la zona de abrigo del rompeolas, esta colonización todavía es incipiente, aunque se aprecian signos de implantación de colonias de corales.

La comunidad de peces en el rompeolas presenta un número significativo de peces y densidades, comparables a las registradas en el estudio marino-costero. Se aprecia una clara diferencia entre los valores de abundancia (densidad) y los índices de diversidad de la parte externa de la interna, con una comunidad mejor estructurada y más diversa en los transeptos expuestos a mar abierto. No obstante, la comunidad de peces en el interior del rompeolas se puede considerar de alto valor ambiental, con especies y densidades propias de aguas litorales del Caribe.

Los resultados obtenidos -al igual que los registrados en años anteriores-, indican que el rompeolas sirve como hábitat para las diferentes comunidades biológicas, contribuyendo a que aparezca en la zona del puerto una mayor riqueza y abundancia de especies bentónicas y pelágicas litorales.

Se ha completado un estudio del ictioplancton que entra en el intake de la central térmica de Punta Rincón, situada en el puerto interior. El estudio se ha centrado en la composición y abundancia de huevos y larvas de peces.

Tanto el recuento de huevos, como el de larvas de peces fue relativamente bajo, con densidades inferiores a las que se pueden encontrar en mar abierto. Por su parte, la composición de especies en las larvas analizadas refleja en cierta medida la composición de peces registrada en los monitoreos en el rompeolas y sitios someros. Abundan las larvas de dos especies *Acanthurus bahianus* y *Carangoides bartolomae*, con porcentajes que llegan al 40-45%. El resto de larvas se corresponden con especies también presentes en la zona, aunque con porcentajes bajos.

Se ha procedido al análisis de los indicadores ambientales biológicos que se vienen empleando de forma rutinaria en el EEA para valorar cómo cambian los resultados de los diferentes elementos ambientales considerados (bentos marino y peces). De esta forma, con el fin de resumir e interpretar estos resultados de la forma más sencilla posible, se ha utilizado una simbología que indica la tendencia de cada indicador en el tiempo en comparación con las condiciones de referencia y la línea de base del año 2015.

La tendencia de los tres indicadores biológicos comparados entre la línea base del 2015 y monitoreos de los años 2016, 2017, 2018, 2019 y 2020 y del presente monitoreo 2021 indican variaciones poco significativas entre los mismos. En este sentido, se destaca que las condiciones generales y biológicas analizadas han variado muy poco con respecto a los años anteriores, no apreciándose por el momento una tendencia hacia disminuir las condiciones en la salud de los ecosistemas marino-costeros (bióticos) asociados con las actividades de operación de la Mina y el puerto.



1. INTRODUCCIÓN

Minera Panamá S.A. está desarrollando el proyecto Mina de Cobre Panamá en el distrito de Donoso, provincia de Colón, situado en el sector central-norte de Panamá. El Proyecto excavará y procesará mineral de sulfuro de cobre que ha sido definido en una concesión de 13,000 hectáreas que está ubicada a 120 km al oeste de la Ciudad de Panamá y a 20 km de la costa del mar del Caribe. El proyecto incluye, además, la construcción de instalaciones portuarias en Punta Rincón, que permitirán la carga de concentrado y la descarga del carbón, asociado con el funcionamiento de la termoeléctrica.



Figura 1. Ubicación del proyecto de Minera Panamá

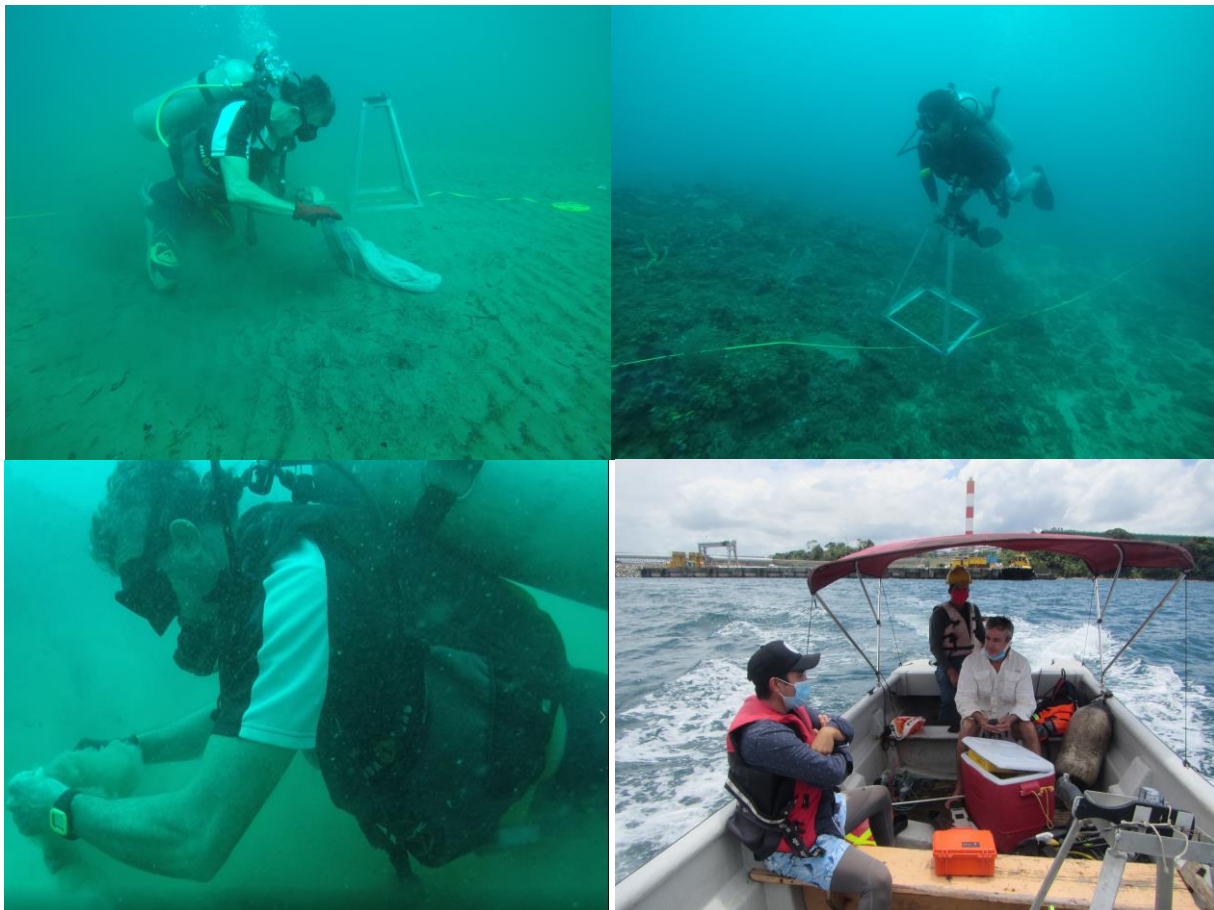
Estas actividades tienen el potencial de impactar los aspectos biológicos y físico-químicos del medio ambiente acuático marino-costero y, por lo tanto, se necesita un programa de monitoreo para evaluar la efectividad de las medidas de control y mitigación.

Se presentan en este Informe los resultados del monitoreo del mes de marzo del año 2021, con el fin de conocer cómo evolucionan los indicadores ambientales en el tiempo desde el año 2015 (considerada la línea base) y su grado de afectación por las actividades de la mina y el puerto, como parte del Plan de Monitoreo de Ecosistemas Marino-Costeros.

Cabe señalar, que en la realización de este monitoreo se han cumplido los protocolos de bioseguridad establecidos para la pandemia del COVID-19, siguiendo las recomendaciones e instrucciones de la OMS y del Ministerio de Salud de la República de Panamá.

Los capítulos principales que contiene el informe son los siguientes:

- Metodología de los trabajos, con una descripción detallada de las metodologías seguidas en los monitoreos biológicos (monitoreos de bentos en fondos duros y blandos y estudio de peces), así como en el intake del puerto para fitoplancton.
- Resultados obtenidos para cada elemento ambiental estudiado, con especial referencia a los indicadores biológicos y su estado de calidad, ya que son los que permitirán seguir la evolución y la tendencia de la calidad y estado ecológico a lo largo del período de actividad de la mina.
- Un análisis de tendencias de los indicadores ambientales, teniendo en cuenta los estudios completados en los últimos monitoreos.



Diferentes momentos de los trabajos realizados para los monitoreos marino-costeros en Punta Rincón.



2. OBJETIVOS DE LA CONSULTORÍA

El objetivo principal de la presente consultoría es continuar con el Plan de Monitoreo de Ecosistemas Marino-Costero, mediante un Programa de Monitoreo de Efectos Ambientales (EEM por sus siglas en inglés) dirigido a asegurar que los controles ambientales para el ecosistema marino-costero (calidad de agua, sedimentos, fondo duro y biología marina), mantengan medidas de mitigación que sean efectivas para la protección y viabilidad de estos ecosistemas en la zona de influencia directa del Proyecto Mina de Cobre Panamá.

Como objetivos específicos se destacan:

- Cumplir con los compromisos EsIA para el monitoreo de la calidad de los sedimentos.
- Asegurar que los procedimientos de manejo son efectivos para limitar los cambios en los sedimentos producto de la sedimentación y otros impactos (por ejemplo, derrames de carbón y concentrado).
- Cumplir con los compromisos EsIA para el monitoreo de los impactos sobre el componente biológico durante la construcción y operación del puerto.
- Evaluación de la efectividad de los controles ambientales durante la construcción (por ejemplo, controles de sedimentos y durante las voladuras) a través del monitoreo de las condiciones químicas, biológicas y físicas.
- Monitorear las condiciones estuarinas para evaluar los impactos de la construcción de la mina (por ejemplo, calidad sedimentos y características físicas).
- Evaluación de la efectividad de los controles ambientales durante las operaciones, específicamente alrededor de la desembocadura de las aguas de refrigeración de la planta de energía y alrededor de las instalaciones portuarias, a través del monitoreo de las condiciones químicas, biológicas y físicas.
- Monitoreo y acciones correctivas para evitar mortalidad de la fauna.
- Cumplir con los compromisos EsIA para el monitoreo de hábitat crítico, especialmente el sustrato del hábitat de fondo duro, dentro y alrededor de la huella del proyecto.
- Evaluar si los mecanismos de control establecidos (por ejemplo, el control de sedimentos y operaciones portuarias) son efectivos para la protección del hábitat de fondo duro cercano a las operaciones.
- Apoyar la actualización de los inventarios biológicos dentro del área del proyecto especificados por los compromisos del EsIA (deben actualizarse cada 5 años).

De esta forma, se ha continuado con la aplicación de los índices e indicadores ambientales establecidos en MINERA PANAMÁ, con el fin de conocer cómo evolucionan en el tiempo y su grado de afectación por las actividades en el puerto de la mina.

Para este monitoreo del mes de marzo de 2021, el estudio se ha centrado solo en los indicadores biológicos, es decir, comunidades biológicas de fondos duros y blandos y comunidades de peces. Asimismo, se han realizado monitoreos de ictioplancton (huevos y larvas de peces) en el intake o toma de agua para la refrigeración de la central térmica.



3. METODOLOGÍA DE LOS TRABAJOS

3.1. Sitios de monitoreo y actividades realizadas

Durante los días 23 al 28 de marzo de 2021, para la obtención de las muestras de los diferentes programas de monitoreo se utilizaron ocho (8) sitios de monitoreo (R3, R33, R12, R15, R18, Caimito Este, T1 y T2), cuyas principales características se incluyen en el **Cuadro 1**.

CUADRO 1. CARACTERÍSTICAS DE LOS SITIOS DE MONITOREO				
CÓDIGO SITIO	TIPO DE PUNTO	TIPO DE FONDO	COORDENADAS GEOGRÁFICAS	
			ESTE	NORTE
R3	PML	Fondo duro-blando profundo	532441	997509
R33	PML	Fondo duro-blando profundo	532520	997707
Caimito Este	PMC	Fondo blando somero	534011	997519
R12	PMC	Fondo duro-blando somero	533301	996970
R15	REF	Fondo duro-blando somero	533331	996560
R18	REF	Fondo duro-blando somero	533049	996196
T1	Control para terminal T2	Fondo blando	533227	997336
T2	Control para terminal T2	Fondo blando	533383	997571

PML: Punto de Monitoreo Lejano; PMC: Punto de Monitoreo Cercano; REF: Punto de Referencia. El término "Punto de Monitoreo Cercano o PMC" se refiere a las ubicaciones de monitoreo que están lo más cerca posible a las operaciones, pero fuera de cualquier zona inicial mixta; la zona inicial mixta es el área donde las descargas provenientes del sitio (por ejemplo, las descargas de agua de refrigeración de la planta de energía) se mezclan por completo con el ambiente marino receptor. Los "Puntos de Monitoreo Lejano o PML" se deben ubicar en lugares que se crean que definen el espacio de cualquier efecto potencial observado en el PMC. Los "Puntos de Monitoreo de Referencia o REF", deben estar cerca del área, pero fuera de cualquier cambio potencial debido a las operaciones del Proyecto.

En la **Figura 2** se muestran las ubicaciones de los sitios de monitoreo utilizados en el año 2021. Para su ubicación, se ha generado un Modelo Digital del Terreno (MDT) a partir de la información cartográfica y batimétrica disponible, sobre el que se ha georeferenciado cada sitio de monitoreo con la ayuda de un Sistema de Información Geográfica (SIG) en soporte ARCGIS en su última versión.

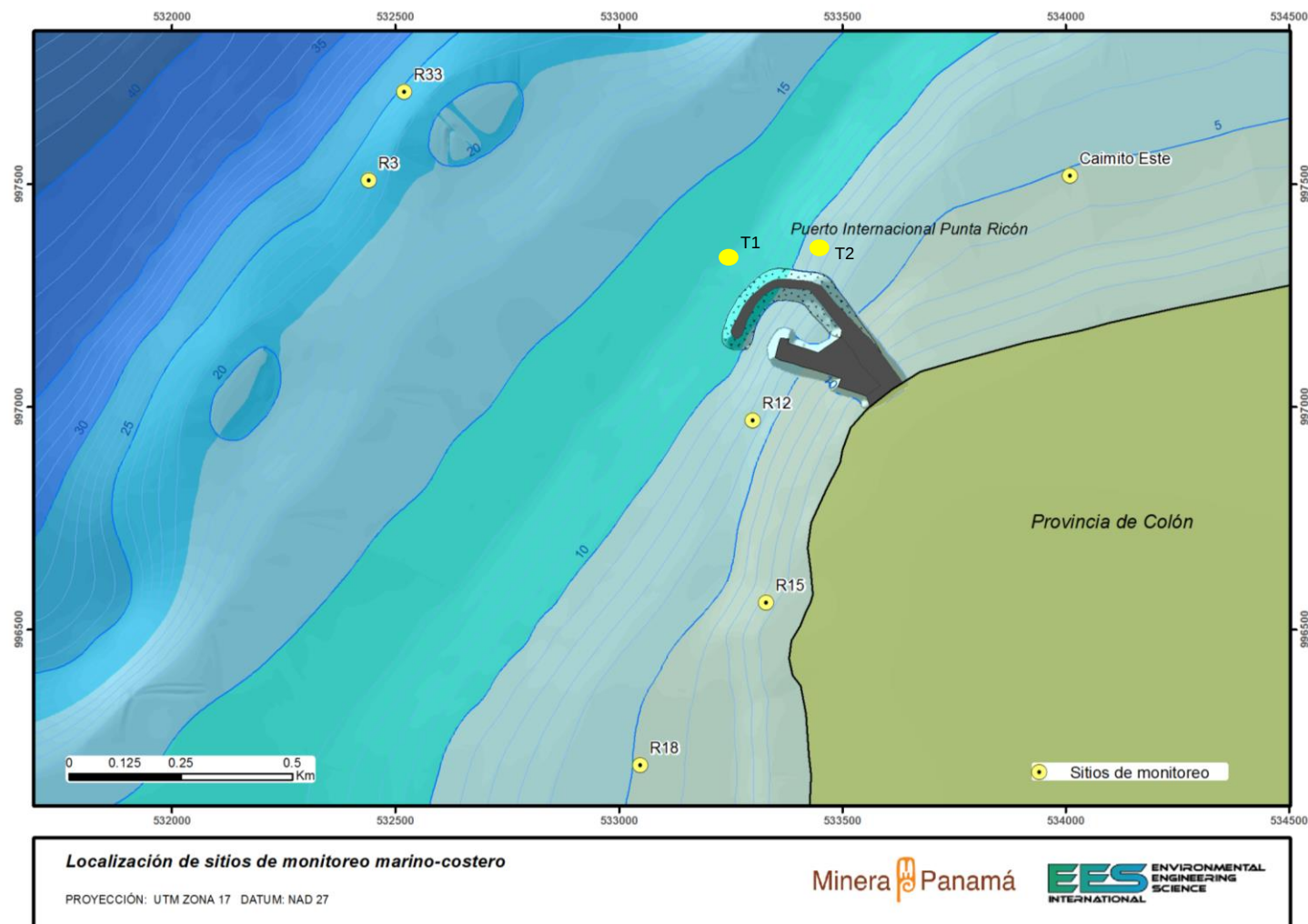


Figura 2. Localización de los sitios de monitoreo para el estudio marino-costero.



De forma particular, en cada sitio de monitoreo las actividades desarrolladas se resumen en el **Cuadro 2**.

CUADRO 2. ACTIVIDADES REALIZADAS EN CADA SITIO DE MONITOREO				
CÓDIGO SITIO	CALIDAD DE AGUAS, SEDIMENTOS Y BIOTA	ESTUDIO COMUNIDADES FONDOS DUROS	ESTUDIO COMUNIDADES FONDOS BLANDOS	ESTUDIO DE PECES
R3	NO	SI	SI	SI
R33	NO	SI	SI	SI
Caimito Este	NO	NO	SI	NO
R12	NO	SI	SI	SI
R15	NO	SI	SI	SI
R18	NO	SI	SI	SI
T1	NO	NO	SI	SI
T2	NO	NO	SI	SI

Según los TdR del estudio, durante este primer monitoreo no se han realizado estudios de calidad de aguas y sedimentos, ya que se completarán en el segundo monitoreo previstos para el año 2021 a realizar en la primera quincena del mes de octubre.

Para el estudio de las comunidades de fondos duros se emplearon buceadores profesionales (equipados con cámaras fotográficas y de vídeo submarino), que en diferentes transectos lineales establecidos en cada sitio -y sobre la base de datos tomados con cuadrantes- se determinó, entre otros, la cobertura de corales y otros organismos. Por su parte, para el estudio de los fondos blandos, se tomaron muestras de sedimento con buceadores y dragas y se completó el estudio del bentos marino. El estudio de peces se realizó con apoyo de buceadores profesionales y siguiendo el método del transecto en cada sitio de monitoreo.

El conjunto de los monitoreos fue llevado a cabo por un equipo de cuatro técnicos cualificados, más el patrón del bote, siguiendo los procedimientos estipulados en los TdR de la consultoría y normas de calidad UNE/EN/ISO 17020 y 17025.

Para optimizar el trabajo, las tareas fueron divididas entre los técnicos, realizando dos de ellos (con títulos de buceadores profesionales) el monitoreo de elementos biológicos y los otros dos la caracterización de calidad de aguas y monitoreos de sedimentos. Se contó con un paramédico y buceador de apoyo en todos los monitoreos realizados.

En todo momento se tuvo el inestimable apoyo y medios (personal, instalaciones, embarcación, etc) de MINERA PANAMÁ, a la que se traslada todo el agradecimiento y consideración por las facilidades prestadas durante el monitoreo.



3.2. Monitoreo de hábitats rocosos (comunidades fondos duros)

Dentro de las métricas a analizar en los hábitats de fondos rocosos-duros se incluyen:

- Porcentaje de cobertura de los organismos del arrecife, incluyendo la cobertura del coral y la densidad de las colonias coralinas.
- Tipos y diversidad de los organismos del arrecife en el sustrato.
- Porcentaje de la cobertura por algas.
- Uso observado del sustrato por parte de los peces y otros organismos móviles.

En cada sitio de monitoreo somero y profundo definido anteriormente, se estableció un transepto lineal fijo paralelo a la costa, excepto en R3 y R33 que fueron perpendiculares. Para delimitar dicho transepto, se utilizaron en el año 2015 varillas de hierro, las cuales fueron enterradas al inicio y fin de cada transepto, como marca permanente para éste y los futuros eventos de monitoreo en estos puntos. Durante estos años, se ha tenido que ir reponiendo estas varillas, debido al efecto del desgaste y el oleaje.

Durante el presente monitoreo, se localizaban estas varillas y una vez identificado y establecido el transepto, se ha cuantificado cada 5 m mediante una cuadrata de 1 m² sujeto por una base, el porcentaje de cobertura (por m²) de algas, algas incrustantes, corales, octocorales, esponjas e invertebrados.

Igualmente, se han tomado secuencias de fotos por cada cuadrata, que servirán para la evaluación de las tendencias con el paso del tiempo en estas ubicaciones y para verificar en el laboratorio el uso del sustrato por parte de peces y otros organismos móviles.

Para la movilización del personal y el equipo de trabajo, se utilizó un bote de fibra de vidrio de 25 pies de largo con motor fuera de borda de 60 hp facilitado por MINERA PANAMÁ. Los datos fueron recolectados a través de buceos de diferente duración realizados por un equipo de dos buzos profesionales con equipo de buceo autónomo y apoyo de un tercer buzo-paramédico desde la embarcación, con la observación de un buceador en superficie con snorkel.

Para la clasificación e identificación de los organismos se utilizaron las guías de identificación de Humann (2006) sobre corales, peces y creaturas arrecifales; en los libros de Veron (2000) para identificación y listado de especies corales pétreos; para la Identificación de corales blandos en campo, en la guía de Humann (2006), en la guía publicada por la Universidad de Warwick (2007) para la identificación visual de este grupo, otras guías STRI Bocas Data Base (2012) y Collin et al. (2005), para invertebrados. Además, se realizaron consultas a diferentes especialistas a partir de las muestras fotografiadas.

Para el cálculo de densidad por área a partir de imágenes se utilizó el programa CPCe (Coral Point Count con extensiones de Excel), que es un software basado en Windows (solo para PC) que proporciona una herramienta para la determinación de la cobertura de coral usando fotografías de transeptos. Un número especificado de puntos espacialmente aleatorios se distribuyen en una imagen y las características subyacentes a los puntos son identificados por el usuario. A continuación, se calculan las estadísticas de cobertura y se resumen los resultados en una hoja excell.

Los análisis y clasificación de las imágenes fueron llevadas a cabo por zoólogos marinos de amplia experiencia en estudios similares en el mar Caribe de Panamá, apoyados en algunos casos por especialistas en cada uno de los grupos estudiados.



Monitoreo de fondos duros con cuadrante sobre soporte al que va incorporado la cámara submarina. Con esta técnica se ha mejorado la calidad y precisión de las fotografías submarinas en los cuadrantes de monitoreo. (fotos correspondientes a trabajos realizados por el equipo de buceadores de EES INTERNATIONAL, SA en años anteriores en fondos blandos -foto de la izquierda- y fondos duros frente a Punta Rincón).

3.3. Monitoreo de biología marina (comunidades fondos blandos y peces)

El monitoreo de biología marina ha constado de:

- Evaluación de la estructura de la comunidad de macroinvertebrados bentónicos (bentos marino) en fondos blandos.
- Evaluación de la estructura de los peces, al igual que la presencia y densidad estimada del pez león.

A) Evaluación de la estructura de la comunidad de macroinvertebrados bentónicos

En los seis sitios de monitoreo, se ha procedido a tomar 3 muestras de fondos blandos para bentos marino, utilizando una draga tipo Ekman de 0,0225 m² de área de apertura o mediante la ayuda de buceadores en una superficie aproximada de 0,045 m² y 5-10 cm de profundidad de sedimento. Las muestras se rotularon y posteriormente fueron tamizadas en un tamiz de 500 micras de tamaño de malla, para eliminar el sedimento y retener los organismos bentónicos. Los organismos se almacenaron en frascos plásticos debidamente etiquetados con la información de la colecta y fijados con alcohol al 95% para su análisis en laboratorio.

Para el análisis de las muestras, se empleó un estereoscopio y se utilizaron claves de identificación para diversos grupos taxonómicos como la de Fauchald, 1977; Salazar-Vallejos, 1991 y Liñeros, 1997 para los poliquetos; Abbott, 1954; Keen, 1971 para los moluscos; Rodríguez, 1980 para los crustáceos.



La identificación se realizó de manera que se pudiera determinar hasta el menor taxón posible. Adicionalmente se ha obtenido la información sobre densidad (n° individuos/m²) y el número de individuos por especie.

B) Evaluación de la estructura de los peces, al igual que la presencia y densidad estimada del pez león

Para la estima y censo de las poblaciones de peces, se ha seguido el método de censo visual de transepto de banda, al ser uno de los protocolos más utilizados para la evaluación de la riqueza, densidad y biomasa de peces arrecifales (Brock 1982).

Con este método, el buzo nada en línea recta siguiendo la cinta métrica de 50 m de longitud situada en el fondo, con una anchura de observación variable en función de la visibilidad de cada sitio. En ese tiempo se realiza las estimaciones de riqueza de especies, mientras otro buzo nada de forma errante cerca de la zona en donde se encuentra fijado el transepto y un tercero nada en superficie (con snorkel y en sitios someros), obteniendo información adicional sobre presencia de peces de interés económico o ecológico (entre ellas, observaciones del pez león). Con la ayuda de una tablilla, los buzos anotaron sus observaciones; asimismo, se utilizaron cámaras submarinas de fotos y video para complementar la información obtenida con los recorridos visuales.

Se estimó la densidad (D) de cada especie según la siguiente expresión:

$$D=P*(n/L*W))$$

siendo n el número de peces, L la longitud del transepto (50 m), W la anchura de conteo (5 m a cada lado de la cinta, es decir 10 m) y P la probabilidad de detección (0,8), tabulando los resultados en clases y referido a ind/10³ m².

3.4. Monitoreo de rompeolas

En el rompeolas se seleccionaron siete (7) transeptos de control (RO1 a RO7), situados en la parte externa e interna del rompeolas y distribuidos de forma representativa en toda su longitud.

En el **Cuadro 3** se incluyen las principales características de los sitios de monitoreo en el rompeolas y actividades realizadas y en la **Figura 3** se localizan estos sitios y transeptos en el rompeolas.



CUADRO 3. CARACTERÍSTICAS DE LOS SITIOS DE MONITOREO EN EL ROMPEOLAS

CÓDIGO TRANSEPTO MONITOREO	ZONA ROMPEOLAS	ACTIVIDADES REALIZADAS	COORDENADAS GEOGRÁFICAS	
			ESTE	NORTE
RO1	Externa	Estudio fondos duros y peces	533234	997207
RO2	Externa	Estudio fondos duros y peces	533316	997312
RO3	Externa	Estudio fondos duros, peces	533476	997298
RO4	Interna	Estudio fondos duros y peces	53480	997310
RO5	Interna	Estudio fondos duros y peces	533315	997181
RO6	Interna	Estudio fondos duros y peces	533365	997232
RO7	Externa Extremo rompeolas	Estudio fondos duros y peces	533371	997244

Se realizaron los mismos monitoreos que en fondos duros y comunidades de peces, con la misma metodología descrita en el apartado anterior, centrando los trabajos en la determinación de las siguientes variables:

- Porcentaje de cobertura de los organismos del arrecife, incluyendo la cobertura del coral y la densidad de las colonias coralinas.
- Tipos y diversidad de los organismos del arrecife en el sustrato.
- Porcentaje de la cobertura por algas.
- Composición y abundancia de peces.

Al igual que en el monitoreo biológico en fondos duros, se ha cuantificado -utilizando una cuadrata de 1 m² el porcentaje de cobertura (%) de algas, algas incrustantes, corales, octocorales, esponjas e invertebrados, así como fotografía y vídeo submarino de cada sitio de monitoreo. Igualmente, se tomaron muestras de agua en dos sitios para análisis químicos de los mismos parámetros que en el monitoreo marino-costero, uno en la parte interna del rompeolas (RO5) o puerto de abrigo y otra en la parte externa del mismo (RO3).

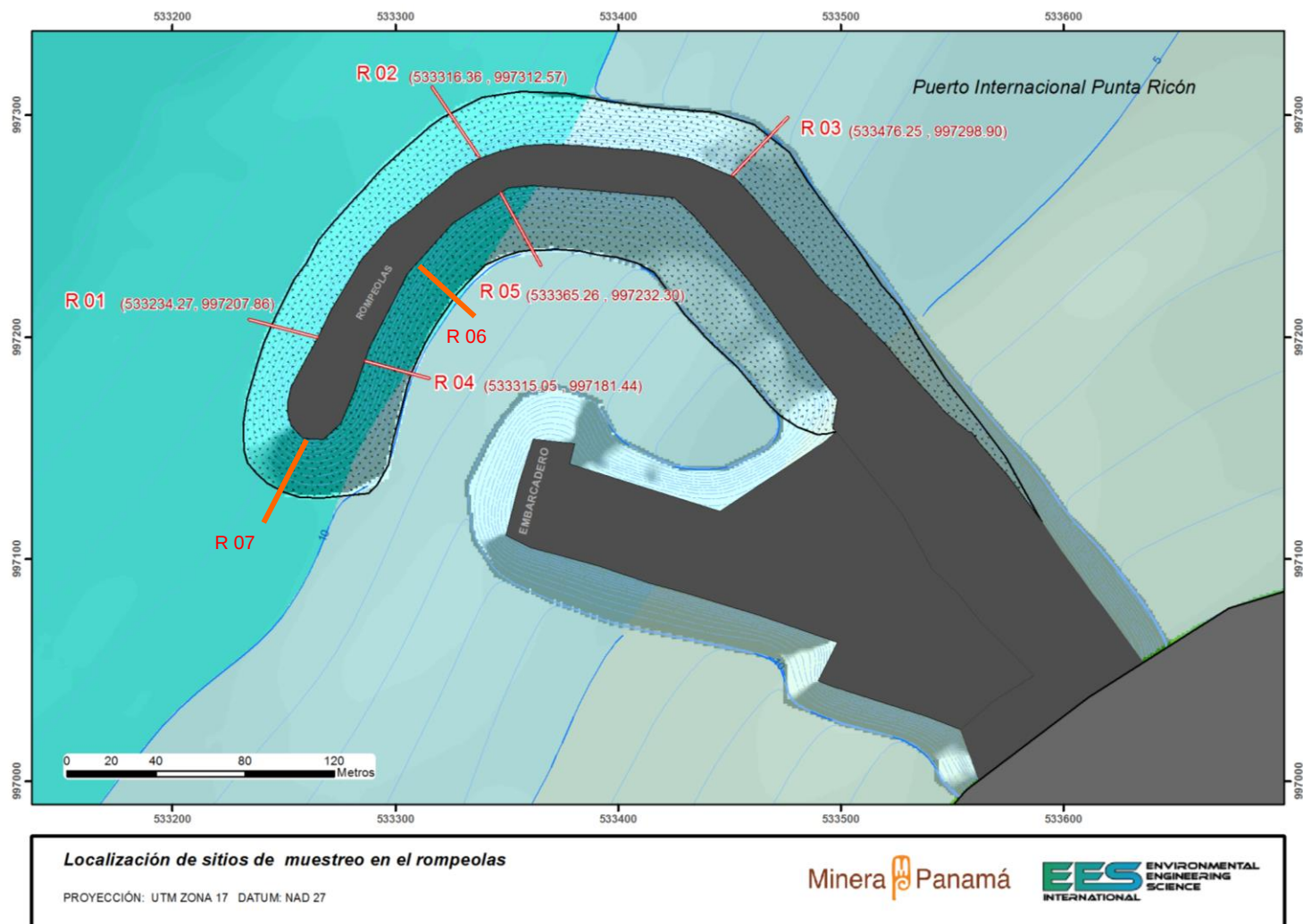


Figura 3. Localización de los sitios de monitoreo y transeptos en el rompeolas.

4. RESULTADOS MARINO-COSTEROS

4.1. Hábitats de fondos duros

4.1.1. Introducción

En la costa del Caribe y en la parte central de Panamá, predominan las playas arenosas de poca pendiente y con fuerte oleaje, caracterizadas por poseer ecosistemas marinos sublitorales (arrecifes de corales) agrupados en pequeñas colonias asociados a rocas de origen basáltico y claros de arena.

Las formaciones coralinas asociadas a estos tipos de fondos se consideran arrecifes de tipo costeros, bordeante o someros, por encontrarse entre 1 o 5 metros. Sin embargo, también en algunas ocasiones estas formaciones se pueden encontrar entre los 25 y 35 m de profundidad, y están recubiertos por una capa delgada de organismos como plantas, esponjas y colonias aisladas de corales. Estos organismos, además de ser raros, son poco conocidos, y guardan una estrecha relación con otras especies que allí habitan, ya que son utilizados como recursos tróficos o refugio. Los fondos duros rocosos juegan un rol importante en la ecología y la fauna típica asociada. La complejidad del sustrato que posean estos fondos, arenoso o rocoso, determinará el éxito de las especies que colonizan esta zona.

Los fondos duros profundos ubicados frente a Punta Rincón, poseen un sustrato rocoso variable entremezclado con arena. Las zonas profundas se caracterizan por poseer menor penetración de la luz y moderada a baja turbidez, lo que limita el crecimiento de ciertas especies y contribuye al desarrollo de otras como esponjas y colonias de corales. Por su parte, los fondos duros someros se caracterizan por presentar una alternancia de sustratos duros y parches de arena y una mayor penetración de la luz, aunque están expuestos de forma más intensa a la acción del oleaje y los aportes de agua dulce del continente.

4.1.2. Fondos duros profundos (R3 y R33)

Los resultados de porcentaje de cobertura (%) para el área muestreada de los diferentes grupos biológicos identificados en cada transepto en los sitios R3 y R33 de fondos duros profundos, se resumen en el **Cuadro 4**.

En el **Cuadro 5** se incluyen los porcentajes de cobertura (%) para el área muestreada de las principales especies –por grupos biológicos- reconocidas en los trabajos en R3 y R33.

CUADRO 4. COBERTURA (%) DE LOS DIFERENTES GRUPOS BIOLÓGICOS EN FONDOS DUROS PROFUNDOS		
GRUPO BIOLÓGICO	R3	R33
Corales	11.8	10.2
Gorgóneas	2.5	3.1
Esponjas	14.8	10.3
Zoántidos	1.8	1.8
Macroalgas	0	0
Otras formas de vida	0.1	0.1
Coral con algas muertas	0	0
Algas coralinas	15.2	14.8
Corales enfermos	0	0
Fondo de arena y piedras	54.0	56.0
Desconocidos	2.3	3.7

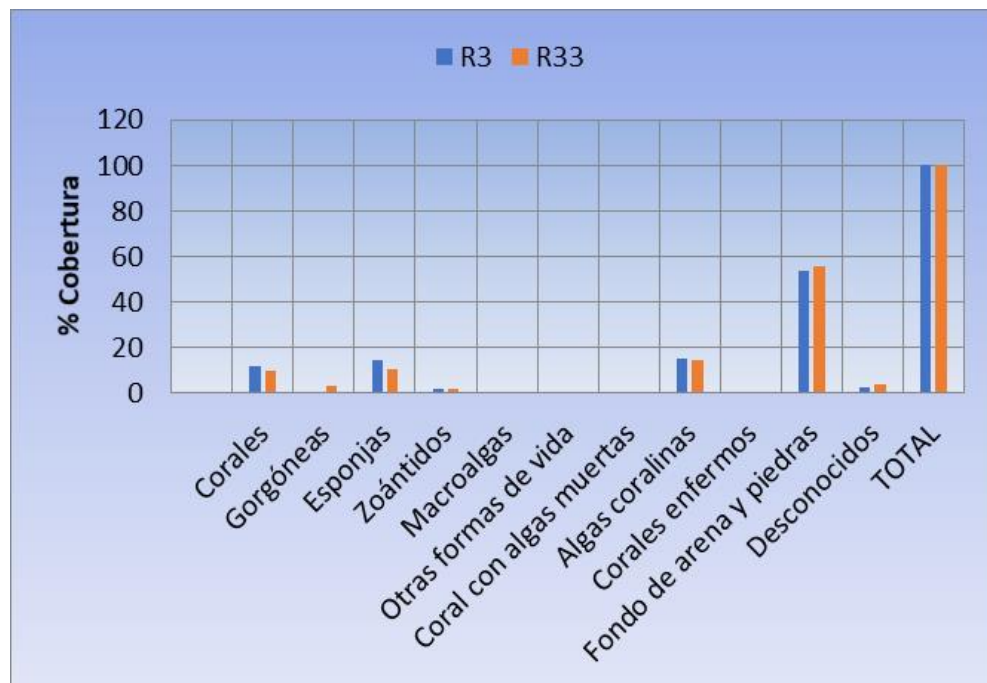


Figura 4. Comparativo entre los grupos biológicos de los sitios de monitoreo de fondos duros profundos.

CUADRO 5. COBERTURA (%) DE LAS PRINCIPALES ESPECIES EN FONDOS DUROS PROFUNDOS

GRUPOS BIOLÓGICOS	NOMBRE DE LA ESPECIE	R3	R33
Corales	<i>Agaricia agaricites</i>	4.1	3.8
	<i>Agaricia lamarcki</i>	1.2	1.3
	<i>Agaricia undata</i>	2.8	2.4
	<i>Agaricia grahamae</i>	1.9	0.5
	<i>Diploria clivosa</i>	0.5	0.5
	<i>Isophyllia sinuosa</i>	2.3	2.1
	<i>Favia fragum</i>	1.6	0.5
	<i>Meandrina meandrites</i>	0.4	0.5
	<i>Mycetophyllia ferox</i>	1.5	0.5
	<i>Sidastrea sideresa</i>	1.4	0.5
Algas			
Clorofitas	<i>Halimeda tuna</i>	3.2	4.6
	<i>Lobophora variegata</i>	3.4	0.5
	<i>Penicillus pyriformis</i>	1.4	1.5
	<i>Ventricaria ventricosa</i>	0.8	1.5
	<i>Galaxaura sp</i>	0.6	1.5
Feofitas	<i>Dictyota menstrualis</i>	0.5	0.5
Rodofíceas	<i>Amphiroa fragilissima</i>	2.1	0.5
	<i>Amphiroa rigida</i>	1.5	0.5
Esponjas	<i>Amphimedon compressa</i>	0.5	0.5
	<i>Aplysina cauliformis</i>	0.5	0.5
	<i>Aplysina fulva</i>	0.5	1.2
	<i>Callyspongia vaginalis</i>	0.3	1.5
	<i>Clathrina primordialis</i>	2.1	1.5
	<i>Ircina campana</i>	0.5	2.5
	<i>Ircina strobilina</i>	0.5	0.5
	<i>Spirastrella coccinea</i>	0.5	0.5
	<i>Verongula gigantea</i>	0.3	0.5
	<i>Xestospongia muta</i>	0.1	1.5
	<i>Xestospongia subtriangularis</i>	2.1	2.1
Gorgóneas	<i>Pseudopterogorgia acerosa</i>	2.3	3.5
	<i>Pseudopterogorgia americana</i>	1.3	2.5
	<i>Muriceopsis flvida</i>	0.5	0.5
Ascidiea	<i>Ascideas sp</i>	0.5	1.5
Zooantidos	<i>Palytoa caribeorum</i>	1.2	2.1
Crustaceos	<i>Panulirus argus</i>	0.5	0.5
Equinodermos	<i>Nemaster grandis</i>	0.5	0.5
	<i>Echinometra lucunter</i>	0.5	0.5

Sitio de monitoreo R3

Corales

En el transecto R3 se registraron colonias de corales formadoras de arrecifes con un 11.8% de cobertura; entre las once especies registradas se puede mencionar como dominantes a las especies *Agaricia agaricites*, *Agaricia undata* e *Isophyllia sinuosa*. Se trata de especies señaladas como pioneras en cuanto a la colonización de arrecifes de corales, por ser especies típicas de fases en reclutamiento.

Algas o Algas Coralinas

En este punto por ser sitio profundo, predominaron las algas coralinas con un 15.2% de cobertura. El grupo de algas dominantes, en cuanto a diversidad, son las algas verdes (Clorofitas), dentro del cual se reportaron especies como *Halimeda tuna*; Las algas rojas (Rodofitas) *Amphiroa fragilissima* y *A. rígida*, especies con alto contenido de carbonato de calcio (algas coralinas incrustantes) y que juegan un papel fundamental en la consolidación y estabilización de los arrecifes de corales.

Esponjas

El grupo de las esponjas resultó ser el tercero más abundante con 9 especies registradas y un 14.8% de cobertura; entre las principales especies se encuentran: *Aplysina cauliformis*, *Callyspongia vaginalis*, *Clathrina primordialis*, *Ircina campana*, *Ircina strobilina* y *Spirastrella coccínea*. La mayoría de estas especies aparecen formando colonias dispersas y de crecimiento moderado, lo que indica que la poca luz y la profundidad son los factores más limitantes para el crecimiento de este grupo de organismos.



Callyspongia vaginalis



Aplysina cauliformis

Gorgóneas

Las gorgóneas o corales blandos o falsos corales representaron un 2,5% de la cobertura en el sitio R3. Las especies *Muriceopsis flavida*, *Pseudopterogorgia acerosa* y *Pseudopterogorgia americana* dominaron entre las especies registradas en orden de abundancia.

Desconocidos y otras formas de vida

Los grupos denominados como “desconocidos y otras formas de vida” representan el 2,1% de cobertura registrada, y se encuentran las Ascidias y los invertebrados marinos como *Nemaster grandis*, *Panilirus argus* y el Crinoideo (*Nemaster grandis*).

Zooantidos

Otro grupo importante, aunque minoritario en presencia son los zooantidos, enmarcados en los corales blandos, representados por *Palytoa caribeorum*, con un 1.8% de cobertura

Sitio de monitoreo R33

Corales

Los resultados del análisis de imágenes en este sitio profundo R33 señala que el 10.2% está constituido por diez especies de corales; entre las especies más abundantes se puede mencionar *Agaricia agaricites*, *Agaricia undata*, *Diploria clivosa* y *Isophyllia sinuosa*.



Corales del género *Agaricia* (foto izquierda) y comunidad mixta de corales con diferentes géneros (foto derecha)

Algas o Algas Coralinas

En este punto -por ser sitio profundo-, predominaron las algas coralinas con un 14.8% de cobertura. También en este sitio, el grupo de algas dominantes, en cuanto a diversidad, son las algas verdes como *Halimeda tuna*, *Lobophora variegata* y *Galaxaura sp*; y rojas (Rodofitas), dentro del cual se reportaron especies como *Amphiroa fragilissima* y *A. rigida*, juntas contribuyen a la formación calcárea del fondo rocoso de esta zona. Entremezclado con la roca,

se encuentran áreas de arena, típica de las formaciones coralinas de algas de algunos fondos del Caribe.

Esponjas

El grupo de las esponjas resultó ser el primer en abundancia con once especies registradas y un 10.3% de cobertura. Entre las especies más significativas se encuentran: *Aplysina cauliformis*, *Aplysina fulva*, *Aplysina lacumosa*, *Callyspongia vaginalis*, *Ircina campana*, *Ircina strobilina*, *Spirastrella coccínea* y *Xestospongia muta*. Las condiciones son muy similares al sitio R3, ya que la mayoría de estas especies se reportan formando colonias dispersas y de crecimiento moderado.

Gorgóneas

Las gorgóneas o corales blandos o falsos corales representaron un 5,7% de la cobertura. Las especies *Pseudopterogorgia americana* y *Pseudopterogorgia acerosa* y *Muceroposis flavida* fueron las más representativas.

Desconocidos y otras formas de vida

Los “desconocidos y otras formas de vida” representan el 3.1% de cobertura registrada, y aparecen representados por las Ascidiás y los invertebrados marinos, como *Spirobranchus giganteus*, *Panilirus argus*, *Echinometra lucunter* y *Nemaster grandis*.

Zooantidos

Los zooantidos, al igual que en R3, están representados por *Palytoa caribaeorum* con 1.8% de cobertura.



Las gorgóneas representan uno de los grupos biológicos más abundantes en los fondos profundos.

4.1.3. Fondos duros someros

Los resultados de porcentaje de cobertura (%) para el área muestreada de los diferentes grupos biológicos identificados en cada transecto en los sitios R12, R15 y R18 de fondos duros someros se resumen en el **Cuadro 6**. Por su parte, en el **Cuadro 7** se incluyen los porcentajes de cobertura (%) para el área muestreada de las principales especies –por grupos biológicos– reconocidas en los trabajos.

CUADRO 6. COBERTURA (%) DE LOS DIFERENTES GRUPOS BIOLÓGICOS EN FONDOS DUROS SOMEROS			
GRUPO BIOLÓGICO	R12	R15	R18
Corales	5.8	5.9	4.6
Gorgóneas	1.4	2.3	1.9
Esponjas	8.4	8.6	8.7
Zoántidos	2.1	0.5	0.5
Macroalgas	0	0	0
Otras formas de vida	2.4	2.1	2.2
Coral con algas muertas	0	0	0
Algas coralinas	2.4	2.3	2.7
Corales enfermos	0	0	0
Fondo de arena y piedras	76.4	77.1	78.3
Desconocidos	1.1	1.2	1.1

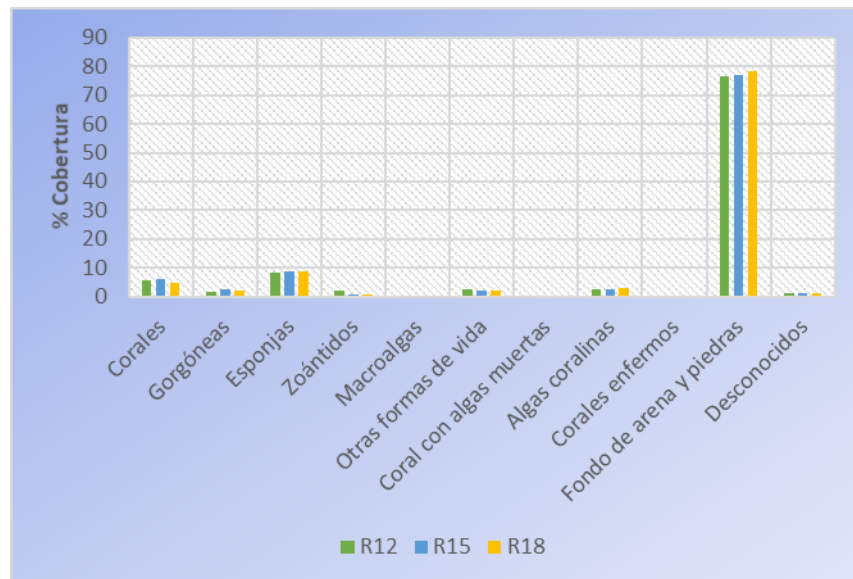


Figura 5. Comparativo entre los grupos biológicos de los sitios de monitoreo de fondos duros someros.

CUADRO 7. COBERTURA (%) DE LAS PRINCIPALES ESPECIES EN FONDOS DUROS SOMEROS				
TAXAS	ESPECIES	R12	R15	R18
Corales	<i>Agaricia agaricites</i>	3.1	2.5	1.5
	<i>Agaricia undata</i>	1.5	1.5	0.5
	<i>Agaricia fragilis</i>	0.5	0.5	0.5
	<i>Agaricia grahamae</i>	0.5	0.5	0.5
	<i>Diploria clivosa</i>	0.5	0.5	0.5
	<i>Porites asteroides</i>	2.5	3.5	1.5
	<i>Siderastrea siderea</i>	0.5	0.5	2.5
Algas				
Clorofitas	<i>Halimeda tuna</i>	0.5	0.5	0.5
Faeofitas	<i>Dictyota menstrualis</i>	2.2	1.5	0.5
	<i>Padina pavonica</i>	0.5	1.5	1.5
Rodofitas	<i>Amphiroa fragilissima</i>	0.5	0.5	0.5
Esponjas	<i>Aplysina cauliformis</i>	1.5	0.5	1.5
	<i>Aplysina fulva</i>	0.5	1.5	0.5
	<i>Callyspongia vaginalis</i>	1.5	1.5	2.3
	<i>Clathrina primordialis</i>	3.5	2.5	1.5
	<i>Ircinia campana</i>	4.5	2.5	0.5
	<i>Xestospongia muta</i>	0.5	0.5	0.5
Gorgóneas	<i>Pseudopterogorgia acerosa</i>	0.5	1.5	0.5
	<i>Pseudopterogorgia americana</i>	0.5	1.5	0.5
	<i>Muriceopsis flava</i>	0.5	0.5	1.5
Zooantido	<i>Palytoa caribaeorum</i>	0.5	1.5	1.5
Otros	<i>Ascidias</i> sp	2.5	0.5	0.5
Poliquetos	<i>Spirobranchus giganteus</i>	0.5	0.5	0.5
Crustáceos	<i>Panulirus argus</i>	1.5	0.5	0.5
Equinodermos	<i>Echinometra lucunter</i>	0.5	0.5	0.5

Este tipo de fondo costero o bordeante se caracteriza por presentar restos de promontorios rocosos o arrecifes fósiles, alternados con playas arenosas y rocas de origen basáltico. En estos transectos o sitios predominó este tipo de fondo, para el sitio R12 con 76.4%; el sitio R15 con 77,1% y para R18 con 78.3%. Entre los aspectos más limitantes se encuentra el oleaje -que puede llegar a ser muy fuerte en algunas épocas del año- y la sedimentación proveniente de los ríos y quebradas que desembocan en esta zona, que son distribuidos a lo largo de la costa por las corrientes y las olas.

Corales

Los arrecifes de esta área muy cercanos a la costa son colonias que deben adaptarse al embate de las corrientes, oleaje y a la sedimentación. Se registró un total de siete especies, formadas principalmente por especies pioneras como *Siderastrea siderea*, *Agaricea undata*, *Agaricia agaricites* y *Porites astreoides*, este último el más representativo de este tipo de fondo. Se ha registrado de forma aislada algún espécimen de *Diploria clivosa*. De esta forma, los corales representaron un 3.1-1.5%, con mayores valores en R12.

Algas y Algas Coralinas

En las costas del Caribe no es común encontrar algas y algas coralinas asociadas a tipos de fondos en donde predominan las arenas y afloramientos próximos a la costa; así los porcentajes registrados para este grupo biológico fueron relativamente bajos. Se indica R12 con 2.4%, R15 con 2.3% y R18 con 2.7%.

Esponjas

Para este grupo, en el transepto R12 la cobertura fue de 8.4%, en el transepto R15 de 8.6% y en el transepto R18 de 8.7%. Entre las formas más comunes podemos señalar el género *Aplysina* -dominante también en los fondos profundos-, *Callyspongia vaginalis*, *Clathrina primordialis* e *Ircina campan*. El éxito de estas esponjas no está limitado por el oleaje ni la sedimentación.

Gorgóneas

Las gorgóneas o corales blandos o falsos corales representaron una cobertura para el sitio R12, con 1.4%, para R15 con 2.3% y para R18 con 2.9%. Las especies *Pseudopterogorgia americana* y *Pseudopterogorgia acerosa* fueron las más representativas.



Pseudopterogorgia sp



Diploria clivosa

Zoantidos

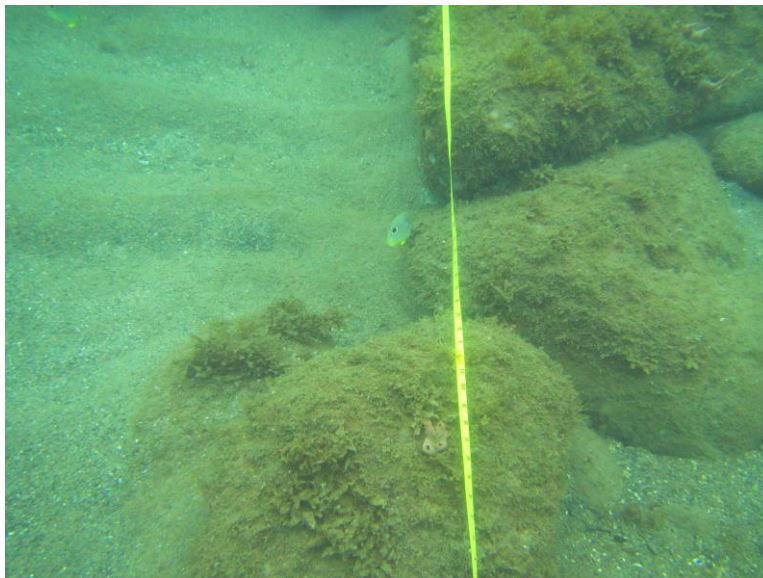
Las zoantidos o falsos corales blandos como también se les conoce, representaron en el sitio R12, con 2.1% para R15 con 0.5% y para R18 con 0.5%. Las especies más representativas es *Palytoa caribaerum*.

Desconocidos y otras formas de vida

Entre los “desconocidos y otras formas de vida” se encuentran las Ascidias y los invertebrados marinos que representan para R12 con 1.1%, para R15 con 1.2% y para R18 con 1.1%.



Vista general del fondo duro somero en R-15.



Vista general del fondo duro somero en R-18.

4.1.4. Zonas próximas a la terminal de carga

Los resultados de porcentaje de cobertura (%) para el área muestreada de los diferentes grupos biológicos identificados en cada transecto en los sitios próximos a la terminal de carga del puerto -T1 y T2-, se resumen en el **Cuadro 8**.

CUADRO 7. COBERTURA (%) DE LOS DIFERENTES GRUPOS BIOLÓGICOS EN LAS ZONAS PRÓXIMAS A LA TERMINAL DE CARGA		
GRUPO BIOLÓGICO	T1	T2
Corales	0	0
Gorgóneas	0	0
Esponjas	0	0
Zoántidos	0	0
Macroalgas	0	0
Otras formas de vida	0	0
Coral con algas muertas	0	0
Algas coralinas	0	0
Corales enfermos	0	0
Fondo de arena	100	100
Desconocidos	0	0

En estos dos sitios de monitoreo predominan claramente los fondos blandos, formados mayoritariamente (100%) de arena fina a media. No se han observado la presencia de formas de vida en el sedimento, como corales, gorgóneas, esponjas o zoántidos.

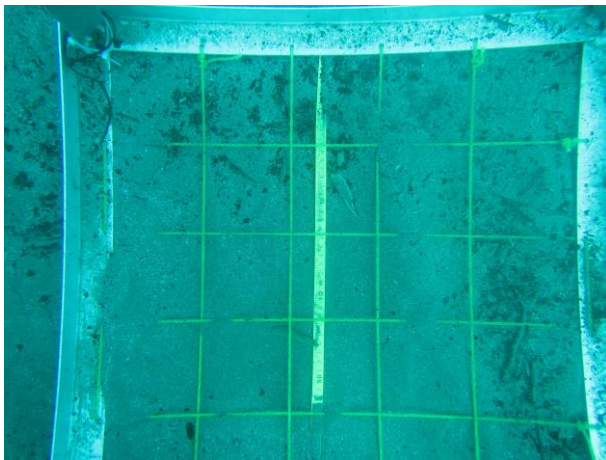


Imagen del fondo en T1

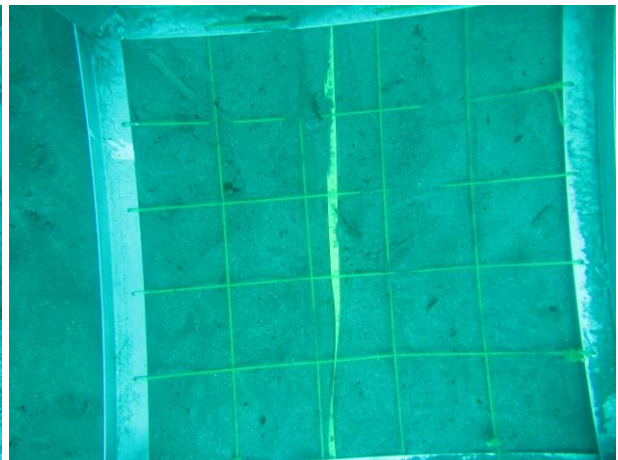


Imagen del fondo en T2

4.1.5. Comparación entre comunidades de fondos duros

Teniendo en cuenta los resultados obtenidos para cada tipo de hábitats, se pueden realizar las siguientes comparaciones entre las comunidades de fondos duros profundos y someros:

- Los porcentajes de cobertura de los transeptos de fondos duros profundos en R3 y R33 del monitoreo de marzo de 2021, son semejantes y discrepan de forma poco significativa a los registrados en los mismos sitios en el monitoreo realizado en octubre de 2020.

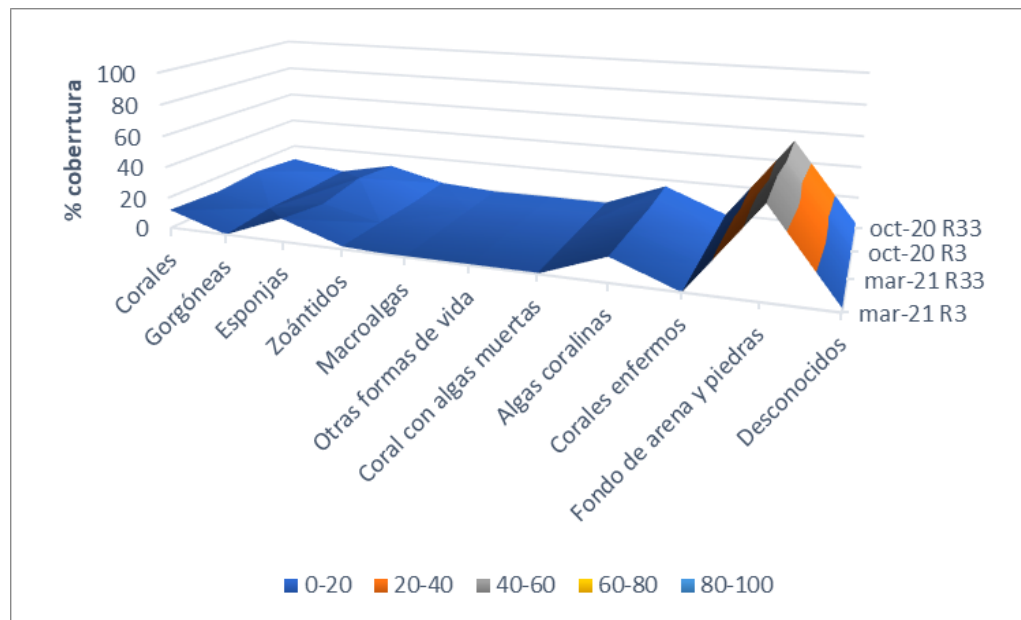


Figura 6. Evolución de los porcentajes de cobertura en R3 y R33 de cada grupo biológico en octubre 2020 y marzo 2021.

- Las comunidades de fondos duros en los dos sitios profundos (R3 y R33) son muy similares, predominando el grupo de las esponjas y seguido de los corales adaptados a las condiciones oceanográficas de este tipo de hábitats. En principio, el sitio R3 ha contado con mayor número de especies (especialmente corales), pero sin ser una diferencia importante.
- Entre los corales predominan las especies *Agaricia agaricites*, *Agaricia grahamae*, *Agaricia undata*, *Agaricia fragalis*, *Meandrina meandrites* y *Mycetophyllia ferox* y entre las esponjas a *Aplysina cauliformis*, *Aplysina fulva*, *Aplysina lacumosa*, *Callyspongia vaginalis*, *Ircina campana*, *Ircina strobilina*, *Spirastrella coccinea*, *Verongula gigantea* y *Xestospongia muta*.

- Los fondos duros someros (R12, R15 y R18) presentan comunidades muy parecidas entre sí y diferentes de los fondos duros profundos, también con escasas diferencias entre los dos monitoreos de octubre 2020 y marzo 2021.

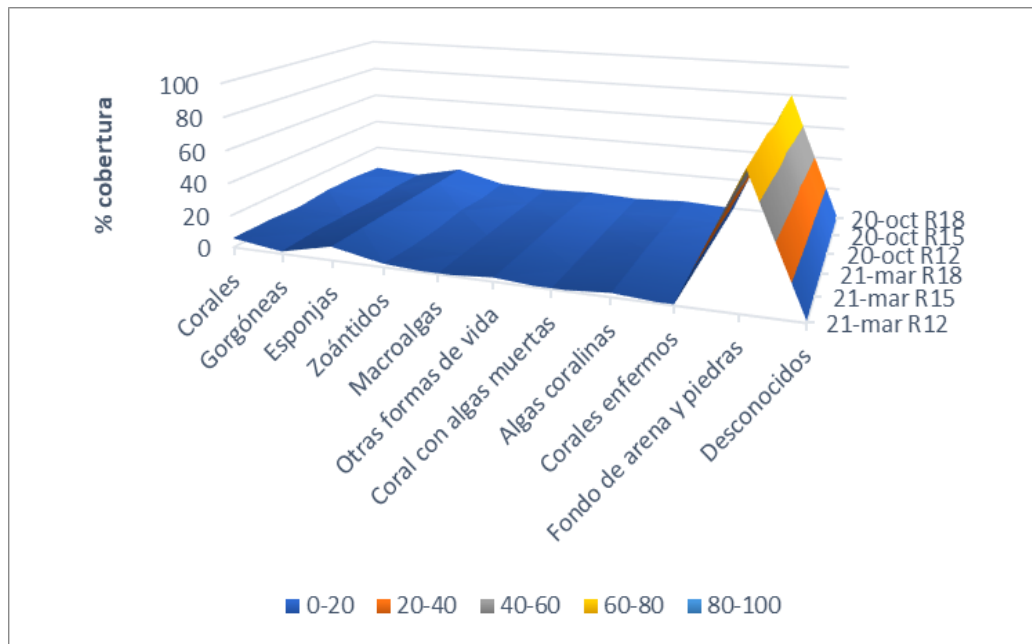
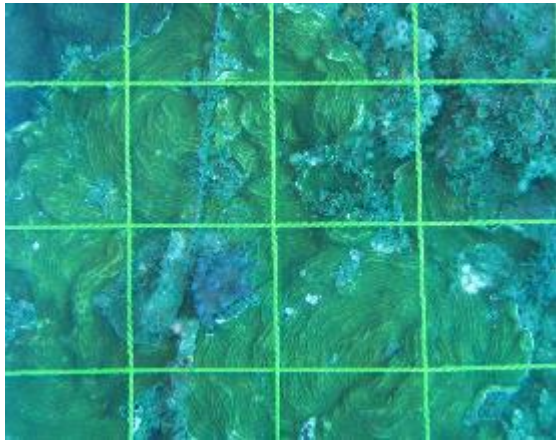


Figura 7. Evolución de los porcentajes de cobertura en R12, R15 y R18 de cada grupo biológico en octubre 2020 y marzo 2021.

- En los corales de los fondos duros someros destacan *Agaricia agaricites*, *Siderastrea siderea* y principalmente *Porites astreoides*. Entre las esponjas las principales especies identificadas han sido el género *Aplysia*.
- Las gorgóneas o corales blandos o falsos corales de los sitios de monitoreo en fondos duros profundos y someros fueron muy parecidas, destacando las especies *Pseudopterogorgia amaerica* y *Pseudopterogorgia acerosa* fueron las más representativas.
- Tanto en los fondos duros someros, como profundos se han registrado con menor cobertura algas y algas coralinas. En los fondos profundos destacan -en cuanto a dominancia y diversidad de especies- las algas rojas (Rodofitas), como *Amphiroa fragilissima* y *A. rigida*, junto a éstas se encuentran *Dictyota menstrualis* y *Halimeda tuna*, que contribuyen a la formación calcárea del fondo rocoso de esta zona. En los fondos someros destacan las algas *Halimeda tuna*, *Amphiroa fragilissima*, *Chondrophycus papillosus*, *Dictyota menstrualis*, *Padina pavonica* y *Galaxaura obtusata*.

- En el grupo de los “otras formas de vida y los desconocidos” conformados por especies de invertebrados marinos, se pueden mencionar las especies como Ascidias, langosta *Panillurus argus*, poliquetos como *Spirobranchus giganteus*, *Echinometra lucunter* y el crinoideo *Nemaster grandis*.
- Los sitios T1 y T2 presentan un sustrato dominado mayoritariamente (>99%) por las arenas finas a medias, en las que no se han registrado especies típicas de fondos duros, con la ausencia de corales y otras formaciones biológicas de interés.
- Para estos sitios, no se ha registrado ninguna contaminación visual (presencia de restos de material de carga de los barcos en el puerto) en los monitoreos de octubre 2020 y marzo 2021.



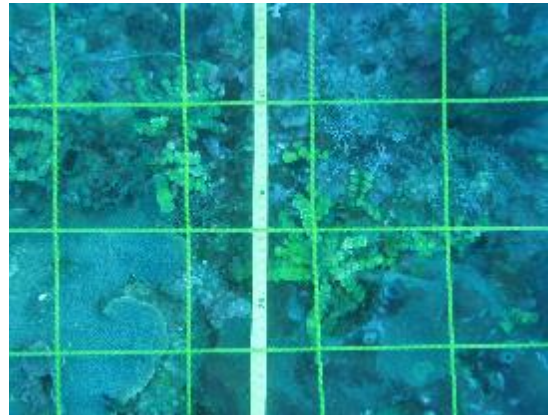
Coral *Agaricia agaricites*



Esponja *Aplysinia fulva*



Esponja *Callyspongia vaginalis*



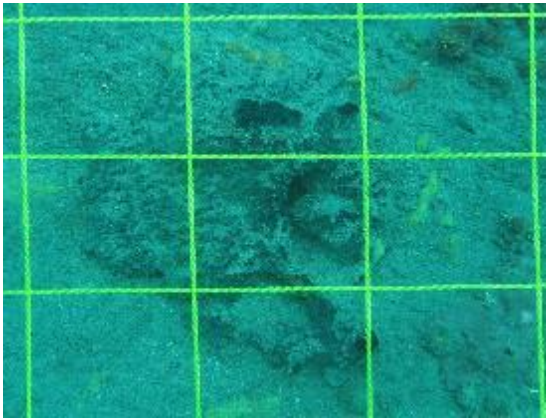
Alga *Halimeda tuna*



Esponja. *Callyspongia vaginalis*



Gorgónea del género *Pseudopterogorgia*

 <i>Coral Millopora complanata</i>	 <i>Coral Diplora sp</i>
 <i>Esponja Ircinia sp</i>	 <i>Diploria clivosa</i>
 <i>Poliqueto</i>	 <i>Pepino de mar Holothuria mexicana</i>

NOTA: fotos correspondientes a la base de datos tomadas durante los monitoreos de los años 2016 al 2021.

4.2. Hábitats de fondos blandos

4.2.1. Introducción

La fauna bentónica es la comunidad de organismos que vive en estrecha relación con el fondo de los ecosistemas acuáticos. Comprende una gran diversidad de grupos taxonómicos, destacando los poliquetos, moluscos, crustáceos y equinodermos, cuyas capacidades de natación o ambulación son reducidas o ausentes y su periodo de vida les permite mostrar respuestas a las variaciones ambientales, haciéndolos útiles para evaluar posibles impactos que podrían generar las actividades antropogénicas.

Es por ello, que la fauna bentónica de fondos blandos es evaluada con el fin de analizar la reacción y efecto de la biota marina ante los probables indicios de contaminación o alteración ambiental (Gray, 1981; Levinton 1982).

Con este fin, se procedió al monitoreo de los fondos blandos de los ocho (8) sitios de monitoreo, con la recolección de muestras para el estudio de la composición y abundancia de las especies del bentos marino, así como el estudio de su estructura teniendo en cuenta los principales índices de diversidad, para valorar el posible impacto de las operaciones de la mina y el puerto de Punta Rincón sobre estas comunidades.

4.2.2. Composición y abundancia

Los resultados globales de la composición y abundancia (ind/m²) de las especies y grupos del bentos marino de fondos blandos, tanto para las estaciones profundas (R3 y R33), como someras (R12, R15, R18, Caimito Este, T1 y T2) se resumen en el **Cuadro 9**.

CUADRO 8. COMPOSICIÓN Y ABUNDANCIA (ind/m ²) DE LOS TAXONES DEL BENTOS									
TAXONES	SITIOS DE MONITOREO								
	R-3	R-18	T-1	T-2	Caimito-Este	R-33	R-15	R-12	Total
Moluscos									
<i>Cerithium sp.</i>	0	25	0	0	0	0	200	25	250
<i>Cerithidea sp</i>	0	0	0	0	0	0	50	150	200
<i>Anachis sp</i>	0	30	0	0	0	0	25	25	80
<i>Mitrella sp.</i>	0	30	0	0	0	0	65	0	95
<i>Nassarius sp</i>	150	30	0	0	0	100	0	0	280
<i>Bulla sp.</i>	0	0	0	0	0	0	25	0	25
<i>Natica sp.</i>	0	15	20	20	0	0	15	15	85
<i>Tellina sp.</i>	0	25	0	0	0	15	30	70	140
<i>Olivella sp.</i>	15	0	15	15	0	20	35	0	100
<i>Rissoina sp.</i>	15	0	0	0	0	26	26	0	67
<i>Littoria sp.</i>	0	25	0	0	0	0	0	26	51
<i>Retusa sp.</i>	15	15	0	0	0	0	0	13	43

CUADRO 8. COMPOSICIÓN Y ABUNDANCIA (ind/m²) DE LOS TAXONES DEL BENTOS

TAXONES	SITIOS DE MONITOREO								
	R-3	R-18	T-1	T-2	Caimito-Este	R-33	R-15	R-12	Total
<i>Persicula sp.</i>	120	0	0	0	25	150	20	60	375
<i>Balcis sp.</i>	0	15	0	0	0	0	15	15	45
<i>Terebra</i>	15	0	0	0	0	0	0	0	15
<i>Serpulorbis sp.</i>	35	0	0	0	0	0	0	20	55
<i>Turbonilla sp.</i>	25	0	0	0	0	0	0	0	25
<i>Haminoea sp.</i>	0	10	0	0	0	0	0	25	35
<i>Cerithiopsis sp.</i>	40	0	0	0	0	35	0	0	75
<i>Rhizorus sp.</i>	0	0	15	5	0	0	0	0	20
<i>Conus sp.</i>	15	0	0	0	0	0	0	0	15
<i>Lucapina sp.</i>	15	0	0	0	0	0	0	0	15
<i>Anadara sp.</i>	15	0	0	0	0	0	52	0	67
<i>Chione sp.</i>	20	0	0	0	0	0	25	10	55
<i>Zebina sp.</i>	15	0	0	0	0	0	25	70	110
<i>Diadora sp.</i>	0	0	0	0	0	0	20	0	20
<i>Thiphora sp.</i>	0	15	0	0	0	0	20	0	35
<i>Vitrinella sp.</i>	0	0	20	0	0	0	10	0	30
<i>Trivia sp.</i>	0	0	0	0	0	15	0	0	15
<i>Tegula sp.</i>	10	0	0	0	0	10	0	0	20
<i>Larirus sp.</i>	10	0	0	0	0	20	0	0	30
<i>Sphenia sp.</i>	0	0	0	0	0	0	15	10	25
<i>Cylichna sp.</i>	0	0	0	0	0	0	0	25	25
<i>Mangelia sp.</i>	0	0	0	0	0	0	0	10	10
<i>Urosalpinx sp.</i>	0	0	0	0	0	0	10	20	30
<i>Fusinus sp.</i>	0	0	0	0	0	0	0	15	15
Poliquetos									
Onuphidae	10	0	0	0	40	0	0	0	50
<i>Heterospio sp.</i>	0	0	0	0	15	10	0	0	25
<i>Glycera sp.</i>	0	0	0	0	0	10	30	0	40
<i>Arenicola sp.</i>	0	10	0	0	0	0	15	0	25
<i>Sternaspis sp.</i>	0	10	0	0	0	0	0	15	25
Sinpiculidos	0	20	0	0	10	0	60	0	90
Nematodos	0	0	0	54	26	0	0	0	80
Crustáceos									
Mysis	80	10	0	0	0	0	25	0	115

En general, los moluscos resultaron ser el grupo más dominante con 36 taxones registrados y con la dominancia de las especies del género *Cerithium sp.*

Dentro de los Poliquetos -segundo grupo en importancia y relevancia-, se registraron cinco taxones, en las que destacan las familias Onuphidae y Glyceridae característicos de fondos blandos y someros. El género *Glycera sp* son poliquetos, que se caracteriza por ser predadora de otras especies y se alimenta de micromoluscos habitando en fondos blandos con alto contenido de materia orgánica. Además, Onuphidae, es una especie que se encuentra en fondos blandos y que pueden resistir a cambios de inestabilidad de los fondos y rico en materia orgánica (Morales et al., 2003).

Los Sipunculidos -considerados como anélidos- son un grupo especial y muy poco estudiado y ha representado el 3.8% del total de organismos registrados; se encuentran solos o adheridos a conchas muertas. Su distribución puede alcanzar desde unos pocos metros hasta fondos muy profundos (abisales) (Ferrero-Vicente, et al., 2011).

Los Crustáceos estuvieron representados por Anfipodos, Mysis y juveniles de cangrejos, colectados de manera fortuita ya que sus formas juveniles y adultas son zooplanctónicas y se distribuyen en la columna de agua. Durante este monitoreo no se registraron equinodermos.

Por su parte, en el **Cuadro 10** y **Figura 6** se resumen, por grupos, la abundancia total (ind/m²) en cada sitio de monitoreo.

CUADRO 9. COMPOSICIÓN Y ABUNDANCIA (ind/m ²) POR GRUPOS DEL BENTOS MARINO								
GRUPOS	SITIOS DE MONITOREO							
	R-3	R-18	T-1	T-2	Caimito	R-33	R-15	R-12
POLIQUETOS	10	20	0	0	55	20	45	15
MOLUSCOS	530	235	70	40	25	391	683	604
CRUSTACEOS	80	10	0	0	0	0	25	0
SIPUNCULIDOS	0	20	0	0	10	0	60	0
NEMATODOS	0	0	0	54	26	0	0	0
SUMA	620	285	70	94	116	411	813	619

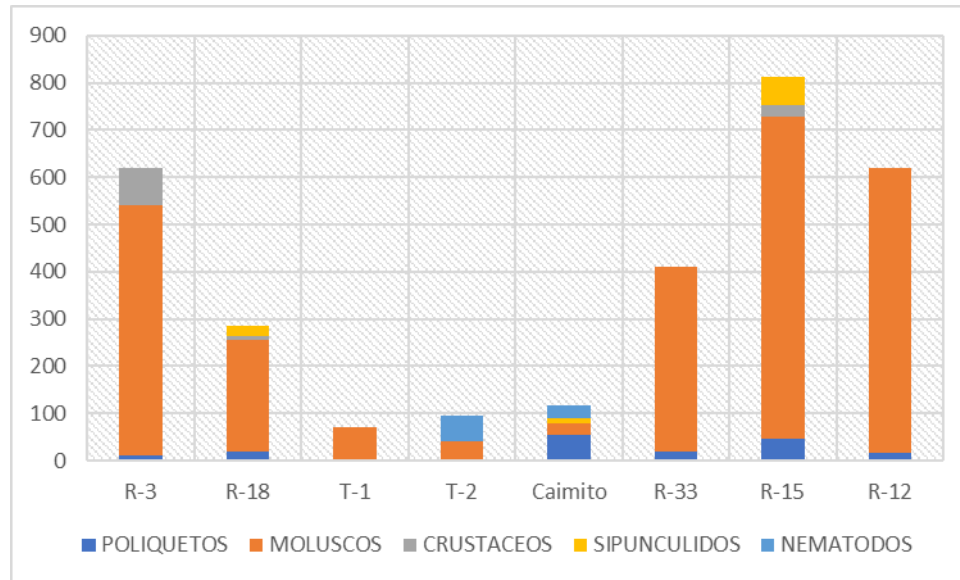


Figura 8. Composición de los diferentes grupos del bentos marino en cada sitio de monitoreo.

Fondos profundos (R3 y R33)

El sitio R3 presentó una mayor abundancia que R33, con 620 ind/m² frente a 411 ind/m². Los moluscos fueron los más característicos o abundante en ambos sitios siendo las especies mayoritarias *Persicula sp.* y *Nassarius sp.*, mientras que los Sipuncúlidos también fueron representativos, pero solo en el sitio R3.

Fondos someros (R12, R15, R18 y Caimito Este)

De este grupo de sitios someros, el menos abundante resultó ser el sitio de monitoreo Caimito Este con 116 ind/m² registrados. En el resto de sitios se registró una moderada abundancia, especialmente en R15 y R12 con 813 y 619 ind/m² respectivamente, y en menor medida R18 con una densidad de 285 ind/m². Los moluscos resultaron ser los más abundantes como las especies: *Cerithidea sp* y *Cerithium sp*.

Sitios próximos a la terminal de carga (T1 y T2)

De los sitios de monitoreo situados próximos a la terminal de carga y caracterizados por la presencia de un sustrato mayoritariamente arenoso, el más abundante resultó ser el sitio de monitoreo T2 con 90 ind/m² registrados y algo inferior en T1 con 70 ind/m² colectados, ambos resultaron ser los menos que el resto de los sitios someros. Los moluscos bryozoarios y los crustáceos anfípodos resultaron ser los más representativos.

Se destaca que durante los análisis no se observó la presencia de restos de cenizas o carbón inorgánico en el sedimento analizado, encontrándose las arenas muy limpias y solo con restos de arrastres procedentes de río Caimito.

4.2.3. Índices estructurales del bentos marino

Se muestran en el **Cuadro 11** los resultados de los parámetros estructurales del bentos marino.

CUADRO 10. INDICES ESTRUCTURALES DE LA COMUNIDAD DEL BENTOS MARINO								
INDICES	R-3	R-18	T-1	T-2	Caimito	R-33	R-15	R-12
Taxa_S	18	15	4	4	5	11	23	19
Individuals	620	285	70	94	116	411	813	619
Dominance_D	0.1281	0.07725	0.2551	0.4036	0.2397	0.2128	0.09404	0.1076
Simpson_1-D	0.8719	0.9227	0.7449	0.5964	0.7603	0.7872	0.906	0.8924
Shannon_H	2.425	2.628	1.376	1.097	1.509	1.903	2.787	2.578
Evenness_e^H/S	0.6277	0.9229	0.9898	0.7485	0.9043	0.6098	0.706	0.693
Brillouin	2.359	2.517	1.285	1.031	1.432	1.846	2.72	2.508
Menhinick	0.7229	0.8885	0.4781	0.4126	0.4642	0.5426	0.8066	0.7637
Margalef	2.644	2.477	0.7061	0.6603	0.8415	1.662	3.283	2.8
Equitability_J	0.8389	0.9704	0.9926	0.791	0.9375	0.7937	0.889	0.8755
Fisher_alpha	3.467	3.372	0.9208	0.8479	1.064	2.079	4.403	3.708
Berger-Parker	0.2419	0.1053	0.2857	0.5745	0.3448	0.365	0.246	0.2423
Chao-1	18	15	4	4	5	11	23	19

En los sitios profundos, los valores del índice de diversidad de Shannon-Wiener estuvieron entre 2,4 bits/individuo (R3) a 1,9 bits/individuo (R33), lo que indica una diversidad poco homogénea entre ambas localidades, ya que la primera registró 18 taxones y la segunda 11, con mayor número de individuos la primera con respecto a la segunda.

Para las localidades someras, la diversidad estuvo entre 1,9-2,7 bits/individuo, con menores valores para Caimito 1,5 bits/individuo (Caimito Este) lo que indica que también una buena homogeneidad entre las tres localidades (R12, R15, R18). Caimito Este presentó la menor diversidad de localidades. Las dos localidades (T1 y T2) presentan las diversidades más bajas, con 1,0-1,3 bits/individuo respectivamente, con tan solo cuatro taxones identificados.

El índice Simpson_1-D fue de 0,8-0,7 para ambas localidades profundas. Para las estaciones o localidades someras el índice estuvo en el rango de 0,7-0,9, en donde R18 resultó ser el sitio más alto e igual número de especies registradas que en los otros sitios. En esta estación se apreció el menor número de especies, ya que dicho índice transforma el número de especies por muestra a una proporción a la cual las especies son añadidas por expansión de la muestra. Supone que hay una relación funcional entre el número de especies y el número total de individuos (Magurran, 1998). Los valores del índice de equidad de Pielou o equitabilidad expresan que los sitios o localidades profundas son similares con un valor de 0,8 a 0,9 y al menos más de una especie está bien distribuida. Por su parte, en las localidades someras y próximas a la terminal de carga la equitabilidad también es alta y homogénea con valores de 0,7 a 0,9.

4.2.4. Análisis estadístico cluster

Para determinar la similitud entre los sitios de monitoreo y grupos de especies y sus posibles asociaciones, se ha seleccionado el análisis cluster, también conocido como análisis de conglomerados, que es una técnica estadística multivariante de clasificación automática de datos, que busca agrupar elementos (o variables) tratando de lograr la máxima homogeneidad en cada grupo y la mayor diferencia entre los grupos.

A partir de una tabla de casos-variables, trata de situar los casos (individuos) en grupos homogéneos, conglomerados o clusters, no conocidos de antemano pero sugeridos por la propia esencia de los datos, de manera que individuos o sitios que puedan ser considerados similares sean asignados a un mismo cluster, mientras que individuos o sitios diferentes (disimilares) se localicen en clusters distintos. Para el análisis, se ha empleado el programa estadístico PAST3, de amplio uso en las Ciencias Biológicas, con la opción de grupos páreados y el índice de similitud de tipo euclídeo. Su representación gráfica se conoce como dendograma, en el que quedan agrupados con un mayor o menor parecido especies o sitios de monitoreo, facilitando la interpretación de los datos.

La **Figura 9** incluye el dendograma que agrupa las diferentes estaciones monitoreadas. Claramente se aprecia que las estaciones profundas R3 (1) y R33 (6) quedan agrupadas por la similitud de sus especies. Asimismo, aparecen claramente diferenciadas las estaciones de fondos blandos R18 (2), R15 (7) y R12 (8) y finalmente los sitios frente al muelle de carga T1 (3) y T2 (4). Este análisis confirma lo mencionado anteriormente y los diferentes tipos de comunidades bentónicas presentes en los ecosistemas muestreados, en donde las diferencias de especies están relacionadas con las condiciones física (profundidad, tipo de sustrato, presencia de luz, disponibilidad de alimento, etc) y ambientales de cada sitio.

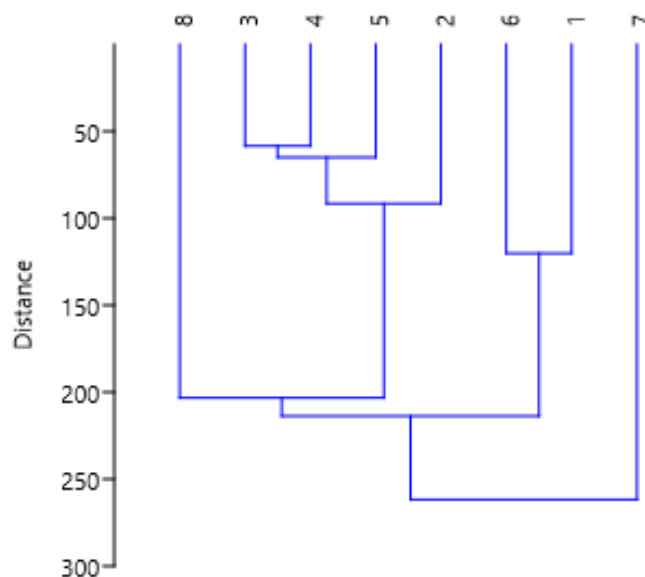


Figura 9. Dendograma que agrupa los sitios de monitoreo en función de las especies del bentos marino de fondos blandos presentes en cada uno.

PRINCIPALES TAXONES DEL BENTOS MARINO FONDOS BLANDOS



NITIDELLA SP



MITRELLA SP



CYLICHNA SP



CERITHIUM ATRATUM



DIPLODON SP



TELLINA SP



NOTA: fotos correspondientes a la base de datos tomadas durante los monitoreos de los años 2016 al 2021.

4.3. Estudio de la comunidad de peces

4.3.1. Introducción

El primer monitoreo marino-costero del año 2021 incluye la actualización de la ictiofauna presente en los fondos duros y arenosos en aguas someras y profundas cercanos a Punta Rincón, así como en los sitios próximos a la terminal de carga (T1 y T2).

La evaluación continua del estado de la comunidad ictiológica en dichos fondos es de gran importancia, ya que el mismo puede reflejar el estado del ambiente circundante, permitiendo detectar cualquier variación en la composición ictiológica en éste área de estudio.

El hábitat superficial de fondo duro (al este y oeste) de Punta Rincón inicia en aguas intermareales. Dicho hábitat de fondo duro -al oeste- presentan un área de grandes cantos rodados meteorizados que parecen haberse originado del promontorio de Punta Rincón. Estas grandes rocas redondeadas y cantos rodados se extienden desde el borde de la playa hasta una profundidad aproximada de 8 m siguiendo un patrón triangular. Este hábitat de fondo duro -al este- es un área de afloramientos de lecho rocoso combinados con cantos rodados meteorizados. Esta característica se encuentra en aguas superficiales (5 a 8 m) al este de las instalaciones del puerto y cubre un área limitada. Entremezclado con esta formación, aparecen manchas de arenales costeros, muy característicos de la costa del Caribe panameño. Estas formaciones representan un hábitat muy importante para las comunidades de peces e invertebrados presentes en estas áreas, las cuales son típicas de hábitats rocosos.

El estudio de las comunidades de peces, tanto en los hábitats de fondos profundos, como de fondos someros más próximos a la costa, se ha centrado en los siguientes objetivos:

- Descripción de la composición cuantitativa y cualitativa y abundancia de las especies de peces
- Descripción estructural de las comunidades. Diversidad biológica
- Estudio específico del pez león en el área

4.3.2. Composición y abundancia de especies

FONDOS PROFUNDOS

Los fondos profundos (duros y blandos) se ubican aproximadamente a 1 km de la costa frente al área de construcción del puerto, entre 80-96 pies de profundidad y están conformados por fondos duros que se levantan sobre un fondo arenoso que los rodea, hasta unos 15-20 pies. Estas lajas se encuentran tapizadas principalmente por esponjas y algunas especies de algas macroscópicas marinas. La visibilidad de sus aguas durante los buceos fue de 30 a 40 pies.

En el **Cuadro 12** se recoge la composición y abundancia de las especies de peces registradas en los dos sitios de monitoreo (R3 y R33) representativos de fondos profundos.

CUADRO 11. COMPOSICIÓN Y ABUNDANCIA (IND/m ²) DE PECES EN FONDOS PROFUNDOS			
FAMILIAS (nombre común)	Especies	FONDO DURO PROFUNDO	
		R3	R33
Acanthuridae (cirujanos)	<i>Acanthurus bahianus</i> Castelnau, 1855	10	5
Carangidae (jureles)	<i>Carangoides bartholomaei</i> (Cuvier, 1833)	20	10
	<i>Caranx latus</i> Agassiz, 1831	5	5
Scorpiionidae (peces escorpión)	<i>Pterois volitans</i> (Linnaeus, 1758)	5	5
Haemulidae (roncador)	<i>Anisotremus virginicus</i> (Linnaeus, 1758)	5	5
Kyphosidae (chopas)	<i>Kyphosus sectatrix</i> (Linnaeus, 1758)	10	10
Labridae (labridos)	<i>Bodianus rufus</i> (Linnaeus, 1758)	5	5
	<i>Halichoeres bivittatus</i> (Bloch, 1791)	5	5
	<i>Halichoeres radiatus</i> (Linnaeus, 1758)	5	5
	<i>Thalassoma bifasciatum</i> (Bloch, 1791)	5	0
Lutjanidae (pargos)	<i>Lutjanus cyanopterus</i> (Cuvier, 1828)	5	5
	<i>Lutjanus synagris</i> (Linnaeus, 1758)	0	10
Mullidae (salmonete)	<i>Pseudupeneus plumieri</i> (Bloch, 1786)	5	0
Pomacanthidae (angeles)	<i>Pomacanthus paru</i> (Bloch, 1787)	0	5
Pomacentridae (dama)	<i>Abudefduf saxatilis</i> (Linnaeus, 1758)	10	5
	<i>Chromis cyanea</i> (Poey, 1860)	5	5
Scaridae (loros)	<i>Sparisoma viride</i> (Bonnaterre, 1788)	5	0
Serranidae (mero)	<i>Epinephelus adscensionis</i> (Osbeck, 1765)	5	0
Sparidae (cabezón)	<i>Archosargus rhomboidalis</i> (Linnaeus, 1758)	5	5
Sphyraenidae (barracuda)	<i>Sphyraena barracuda</i> (Edwards in Catesby, 1771)	5	0
Tetraodontidae (tamboril)	<i>Canthigaster rostrata</i> (Bloch, 1786)	4800	4000
TOTAL		4920	4090

Para los fondos duros profundos evaluados se censó un total de 4920 individuos/m² en el transepto en R3 y 4090 individuos/m² en el transepto de R33, pertenecientes a 21 especies de peces, incluidas en 15 familias. Todos los peces observados fueron óseos (Osteichthyes).

En la **Figura 10** se representa la abundancia de cada especie obtenida en los transeptos realizados en R3 y R33.

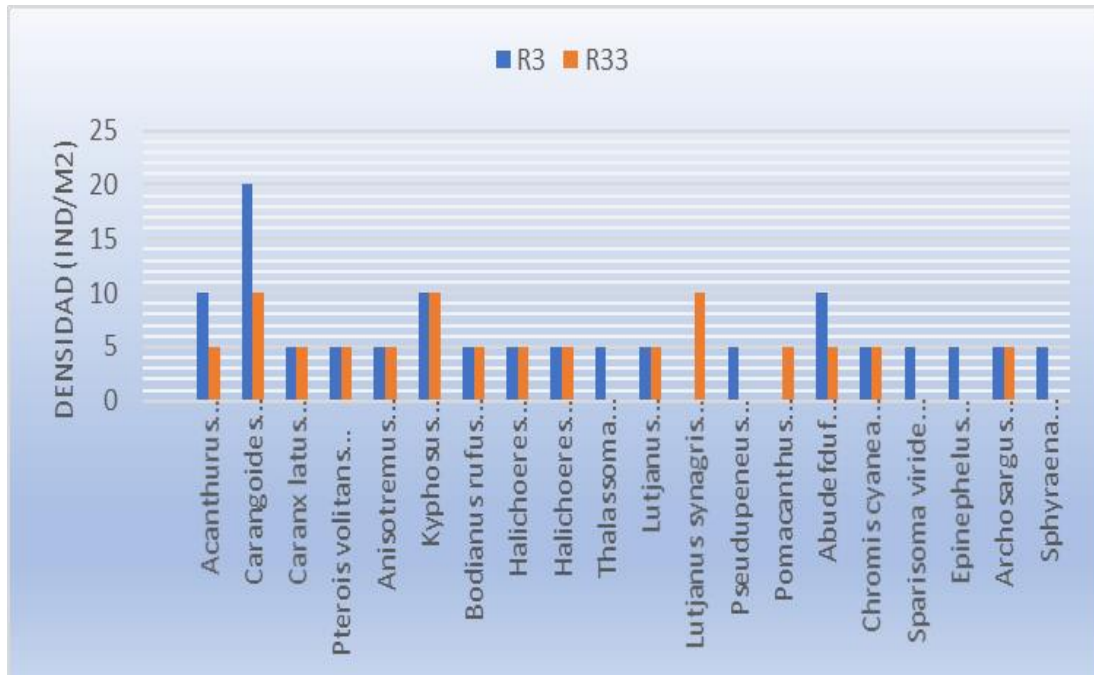


Figura 10. Abundancia relativa de las familias asociados a los transectos R3 y R33.

La especie más abundante fue *Canthigaster rostrata* (Bloch, 1786), con elevadas densidades en los dos sitios. Es una especie observada muy frecuentemente en esta zona del Caribe y que es conocida por sus abundantes incrementos poblacionales en determinadas épocas del año, con posteriores episodios masivos de mortandad una vez que disminuyen sus requerimientos alimenticios o intervienen otros factores ambientales.

Las especies *Acanthurus bahianus* (0,2%) y *Carangoides bartolomaei* y *Kyphosus sectatrix* con similar porcentaje (0,2-0,4%) le siguen en abundancia, aunque con densidades muy inferiores; el resto de especies presentaron porcentajes de presencia inferior al 0,1%. En el sitio R33 se comporta de forma similar, debido a su proximidad y parecidas condiciones ambientales, con *Acanthurus bahianus* (0,1%) y *Carangoides bartolomaei* y *Kyphosus sectatrix* con similar porcentaje (0,2-0,4%); el resto de especies presentaron porcentajes de presencia inferior al 8%.



Acanthurus bahianus



Carangoides bartolomaei



Kyphosus sectatrix

FONDOS SOMEROS

Son áreas con una profundidad de 20 a 30 pies aproximadamente y están conformados por arena y piedras de tamaño medio a rocas grandes, tapizadas por diversas formas bentónicas de macroalgas, esponjas, etc.

Este lecho marino está influenciado directamente por el oleaje (debido a su poca profundidad); que se refleja sobre la arena. Adicional a esto, se observa la presencia de vegetación continental sumergida, muy característico en áreas aledañas a los ríos en el Caribe de Panamá (Garrity & Levings, 1993). Esta condición puede ser originada por la descarga del río Caimito, ubicado al Este, debido al patrón dominante de corrientes marinas en el área, logrando exportar parte de su vegetación hacia estos fondos.

En el **Cuadro 13** se incluye la composición y abundancia de las especies de peces registradas en los sitios de monitoreo (R12, R15, R18, T1 y T2) representativos de fondos someros.

CUADRO 12. COMPOSICIÓN Y ABUNDANCIA (IND/M ²) DE PECES EN FONDOS SOMEROS						
FAMILIAS (nombre común)	Especies	R12	R15	R18	T1	T2
Acanthuridae (cirujanos)	<i>Acanthurus bahianus</i> Castelnau, 1855	5	5	5	0	0
	<i>Acanthurus coeruleus</i> Bloch & Schneider, 1801	5	5	5	0	0
Carangidae (jureles)	<i>Carangoides bartholomaei</i> (Cuvier, 1833)	5	5	5	0	0
Scorionidae (peces escorpión)	<i>Pterois volitans</i> (Linnaeus, 1758)	5	5	5	0	0
Gerreidae (mojarra)	<i>Eucinostomus melanopterus</i> (Bleeker, 1863)	0	5	0	0	0
Haemulidae (roncador)	<i>Anisotremus virginicus</i> (Linnaeus, 1758)	0	5	0	0	0
Holocentridae (ardillas)	<i>Holocentrus rufus</i> (Walbaum, 1792)	0	0	0	0	0
Kyphosidae (chopas)	<i>Kyphosus sectatrix</i> (Linnaeus, 1758)	5	5	0	0	0
Labridae (labridos)	<i>Bodianus rufus</i> (Linnaeus, 1758)	5	5	0	5	5
Lutjanidae (pargos)	<i>Lutjanus analis</i> (Cuvier, 1828)	0	5	5	0	0
	<i>Lutjanus mahogoni</i> (Cuvier, 1828)	5	0	5	0	0
Pomacanthidae (angeles)	<i>Holacanthus tricolor</i> (Bloch, 1795)	5	0	0	0	0
	<i>Pomacanthus paru</i> (Bloch, 1787)	5	0	0	5	0
Pomacentridae (dama)	<i>Chromis insolata</i> (Cuvier, 1830)	0	0	0	0	0
	<i>Stegastes diencaeus</i> (Jordan & Rutter, 1897)	0	0	0	0	0
	<i>Stegastes variabilis</i> (Castelnau, 1855)	0	5	0	0	5
Scaridae (loros)	<i>Scarus guacamaia</i> Cuvier, 1829	0	5	5	0	0
	<i>Sparisoma viride</i> (Bonnaterre, 1788)	0	0	5	0	0
Serranidae (mero)	<i>Epinephelus adscensionis</i> (Osbeck, 1765)	5	0	5	0	0
Sparidae (cabezón)	<i>Calamus penna</i> (Valenciennes, 1830)	0	5	5	0	0
Tetraodontidae (tamboril)	<i>Canthigaster rostrata</i> (Bloch, 1786)	10	5	10	0	0

En los fondos duros someros, se registraron un total de 199 individuos; pertenecientes a 21 especies, distribuidas en 16 familias. De estas especies, 60 ind/m² fueron observadas asociadas al sitio R12, 65 ind/m² al sitio R15, 60 ind/m² al sitio R18, 10 ind/m² al sitio T1 y 4 ind/m² al sitio T2. Todos los peces observados fueron óseos (Osteichthyes). En la **Figura 11** se representa la abundancia de cada especie obtenida en los transectos realizados en zonas someras.

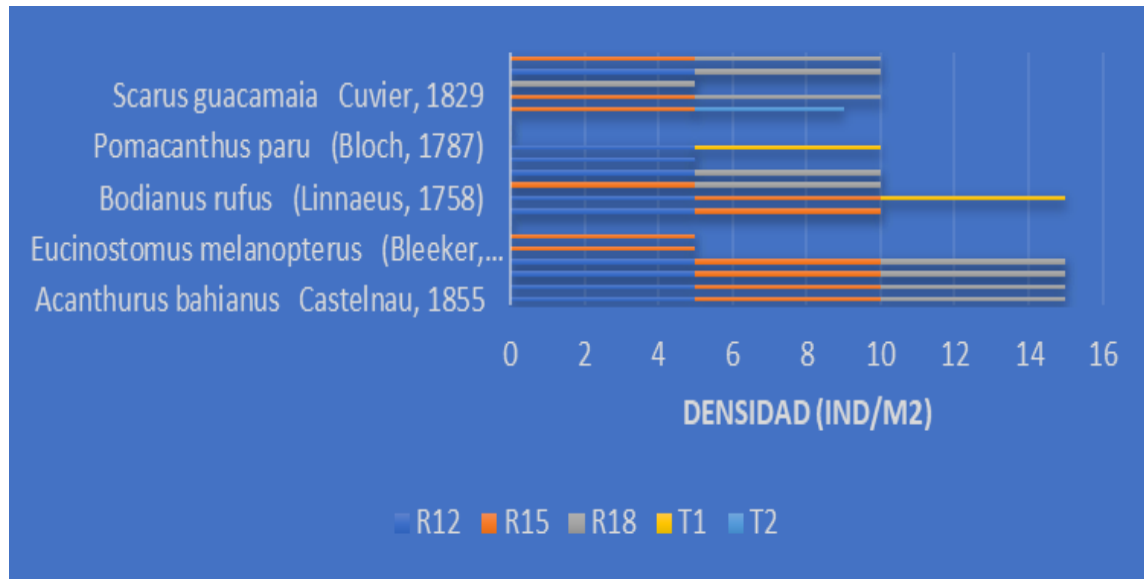
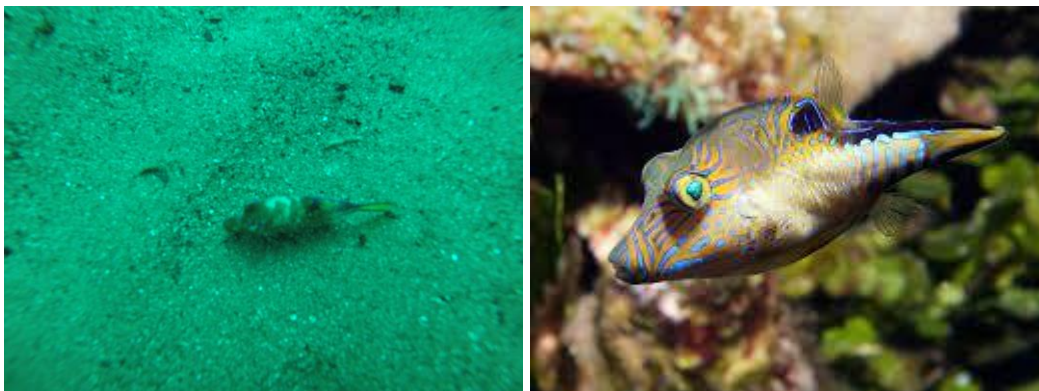


Figura 11. Distribución porcentual de las principales familias de peces en fondos someros.

Las especies más abundantes observadas fueron *Kyphosus sectratrix* (7-8%) y *Carangoides bartholomaei* (7-8%), seguidos del género *Acanthurus* (7-8% para cada especie de este género). En los sitios T1 y T2 se registraron muy pocas especies, solo con la presencia muy esporádica de *Bodianus rufus* y *Pomacanthus paru* (50%) en T1 y solo *Stegastes variabilis* en T2. En estos sitios, la especie *Canthigaster rostrata* (Bloch, 1786) fue muy poco abundante y con bajas densidades, estando ausente en T1 y T2.



Canthigaster rostrata se encuentra presente en todos los sitios de monitoreo. En algunas zonas, se han encontrado individuos muertos en el fondo.

Análisis estructural de las comunidades. Índice de diversidad

Para medir la diversidad de las especies de peces en los sitios muestreados, se utilizó el Índice de Diversidad de Shannon-Weaver. Este índice expresa la abundancia relativa con que cada especie contribuye en la comunidad.

El **Cuadro 14** muestra los valores obtenidos para los peces asociados a los fondos duros profundos (R33 y R3) y someros (R12, R15, R18, T1 y T2).

CUADRO 13. ANALISIS ESTRUCTURAL DE LAS COMUNIDADES DE PECES							
INDICES	R3	R33	R12	R15	R18	T1	T2
Taxa_S	19	16	11	13	11	2	1
Individuals	4920	4090	60	65	60	10	4
Dominance_D	0.95	0.96	0.10	0.08	0.10	0.50	1.00
Simpson_1-D	0.05	0.04	0.90	0.92	0.90	0.50	0.00
Shannon_H	0.18	0.16	2.37	2.57	2.37	0.69	0.00
Evenness_e^H/S	0.06	0.07	0.97	1.00	0.97	1.00	1.00
Brillouin	0.18	0.16	2.09	2.26	2.09	0.55	0.00
Menhinick	0.27	0.25	1.42	1.61	1.42	0.63	0.50
Margalef	2.12	1.80	2.44	2.88	2.44	0.43	0.00
Equitability_J	0.06	0.06	0.99	1.00	0.99	1.00	0.00
Fisher_alpha	2.51	2.11	3.95	4.89	3.95	0.75	0.43
Berger-Parker	1	1	0.17	0.08	0.17	0.50	1.00
Chao-1	19	16	11.00	13.00	11.00	2.00	1.00

Teniendo en cuenta los resultados del primer monitoreo del año 2021, los peces registraron una diversidad y composición similar en los sitios someros, por su parte, en los sitios profundos y debido a la gran dominancia cuantitativa del tamboril, los índices de diversidad y resto de índices estructurales han disminuido considerablemente. Este hecho condiciona en gran medida el empleo de índices estructurales para evaluar la evolución de una comunidad biológica; en este caso, la dominancia por condiciones naturales de una especie en una determinada época del año puede causar sesgo en los análisis, situación que puede volver a la normalidad una vez superada esa fase.

La disminución o el aumento estacional de la riqueza (nº especies e individuos, reflejados en los índices de diversidad calculados), así como de la cantidad de individuos e incremento del tamaño de las especies observadas, coinciden con lo observado en diversas latitudes del Caribe, en las cuales la mayor cantidad y diversidad de individuos de menor tamaño, se encuentran en las áreas costeras poco profundas, por ser estas zonas de crecimiento y desarrollo de dichas especies. Por su parte, hacia las aguas más profundas, aparecen especies de mayor tamaño, pero con menor diversidad y número de individuos, pues en estas áreas se registran principalmente especies adultas.

A partir de los resultados obtenidos, se puede inferir que lo observado representa el estado actual y normal de las poblaciones de peces de los fondos profundos y someros con diferentes hábitats; ya que en dichos lugares no se ha desarrollado una sobrepesca que pudiera afectarlos, como lo que ha ocurrido en otras áreas del Caribe de Panamá (Jácome, 2001). Las variaciones entre épocas del año y monitoreos, están asociadas con la variabilidad natural de este tipo de comunidades, en las que intervienen factores propios de regulación, sin que se observen otros factores (por ejemplo, antropogénicos) que, por el momento, las puedan alterar.

4.3.3. Pez león

En el **Cuadro 22** y **Figura 12** se resumen, para los años 2016, 2017, 2018, 2019, 2020 y presente 2021 las observaciones de pez león (*Pterois volitans*) en ind/m² para los transectos evaluados en el fondo somero (R12, R15 y R18) y fondo profundo (R3 y R33) en donde se realiza su seguimiento.

CUADRO 22. DENSIDADES (IND/m ²) DE PEZ LEÓN EN LOS DIFERENTES AÑOS DE MONITOREO							
AÑO	R3	R33	% Total	R12	R15	R18	% Total
2021	5	5	0,1	5	5	5	7-8
2020-2S	5	5	3,1-3,2	5	5	5	4,5-5,6
2019-2S	5	5	2,6-3,0	0	0	5	0-4,2
2019-1S	10	10	5-7,4	10	0	0	0-4,7
2018-2S	10	15	5-6	10	20	5	0,8-3,3
2018-1S	20	20	3,2	15	25	5	5,3
2017	15	20	3,0	15	6	5	0,83
2016	20	10	7,6	40	25	20	9,3

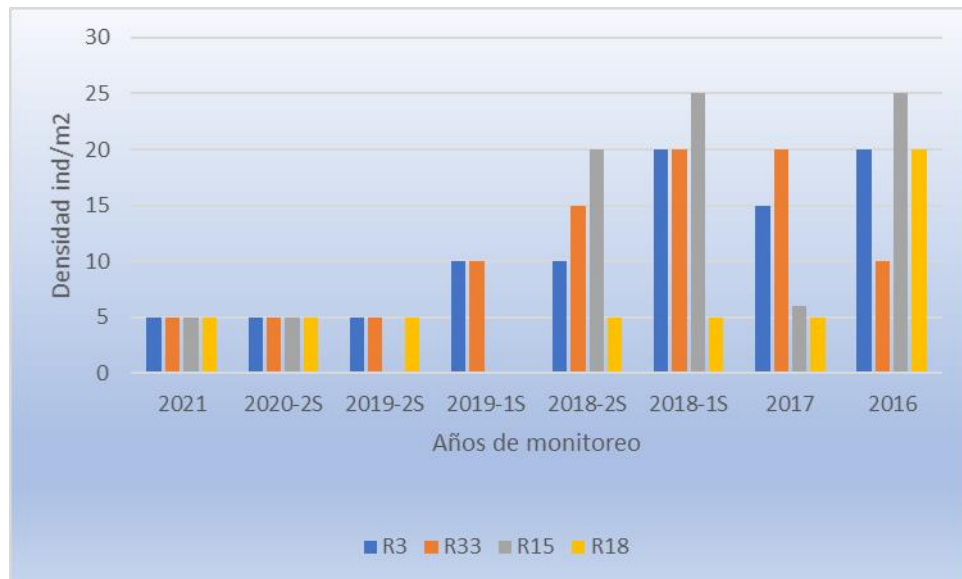


Figura 12. Evolución anual de los efectivos de pez león (*Pterois volitans*) en los diferentes sitios de monitoreo.

La abundancia relativa de esta especie en el presente monitoreo fue de 7-8% para el fondo somero y de 0,1% para el fondo profundo, aunque en este caso hay que destacar la gran influencia porcentual del tamboril en los recuentos. Se observa, con respecto a años anteriores, que la especie se mantiene en los porcentajes y densidades, con pequeñas variaciones. A partir de los datos ya disponibles, se puede adelantar que la especie ha llegado a un tamaño poblacional más o menos definido, aunque pueden variar los efectivos entre estaciones debido a factores externos (alimento, depredación, etc).

Esta especie está posicionada en las partes altas de los transectos monitoreados, observándose principalmente peces juveniles y adultos. Como especie invasiva, puede ocasionar graves problemas ecológicos en la estructura ictiológica de los arrecifes en los fondos duros de piedra y arrecifes de coral (Christopher & Olden, 2011) en el área del Caribe de Panamá. Es una especie invasora y dañina para el ecosistema, que llegó a las aguas del Caribe de Panamá a través de las corrientes (Vásquez-Yeomans et al. 2011), producto de la invasión de este organismo, la cual se originó en Florida, Estados Unidos (Whitfield et al. 2002; Hare & Whitfield, 2003, Schofield, 2010). Debido a su impacto, se recomienda desarrollar un plan para el control de las poblaciones de esta especie en las áreas cercanas al proyecto de Minera Panamá.

Esta especie está posicionada en las partes altas de los transectos monitoreados, observándose principalmente peces juveniles y adultos. Como especie invasiva, puede ocasionar graves problemas ecológicos en la estructura ictiológica de los arrecifes en los fondos duros de piedra y arrecifes de coral (Christopher & Olden, 2011) en el área del Caribe de Panamá. Es una especie invasora y dañina para el ecosistema, que llegó a las aguas del Caribe de Panamá a través de las corrientes (Vásquez-Yeomans et al. 2011), producto de la invasión de este organismo, la cual se originó en Florida, Estados Unidos (Whitfield et al. 2002; Hare & Whitfield, 2003, Schofield, 2010).



Presencia del pez león (Pterois volitans) en los monitoreos.

5. RESULTADOS DEL ESTUDIO DEL ROMPEOLAS

5.1. Estudio de fondos duros

Los resultados de cobertura (%) de las diferentes formaciones biológicas que colonizan el rompeolas se recoge en el **Cuadro 15**.

CUADRO 24. COBERTURA (%) DE LOS GRUPOS BIOLÓGICOS EN EL ROMPEOLAS							
GRUPOS BIOLÓGICOS	RO1	RO2	RO3	RO7	RO4	RO5	RO6
Corales	0.3	2.5	8.9	5.3	0.3	0	0
Gorgóneas	0	0	0.3	0	0	0	0
Espojas	0	0	2.3	0	0	0	0
Zoántidos	0	0	0	0	0	0	0
Macroalgas	0	0	0	0	0	0	0
Otras formas de vida	0.3	1.3	3.5	3.1	0	0	0
Coral con algas muertas	0	0	0	0	0	0	0
Algas coralinas	0.6	1.2	1.6	3.1	0	0	0
Corales enfermos	0	0	0	0	0	0	0
Piedras	97	91.9	81.3	86.3	99.7	100	100
Desconocidos	1.8	3.1	2.1	2.2	0	0	0

Las variaciones son ligeramente positivas, con un aumento paulatino de las coberturas de las principales formaciones (corales, esponjas, etc) del orden de 0,05-0,1% cada año, aunque cabe indicar que puede haber variaciones asociadas con las técnicas de monitoreo y su precisión.

Corales

El sitio de monitoreo RO3 presenta la mayor cobertura de corales con 8,9%, seguido del RO7 con un 4,6% y el RO2 con un 5,3%, los tres pertenecientes a los sitios externos y más expuestos a mar abierto. En los sitios internos RO4, RO5 y RO6 –, no se han registrado colonias de coral, aunque si se presentan formaciones muy iniciales en primeras fases de colonización, de pequeño tamaño y no registrados por el método visual.

Los corales aparecen solo en la parte más externa del rompeolas, y están formados por colonias que deben adaptarse al embate de las corrientes, oleaje y a la sedimentación. Están mayoritariamente representados por especies pioneras, como *Agaricia agaricites* y el hidrocoral llamado coral fuego *Millepora complanata*, este último el más representativo de este tipo de fondo rocosos.

Algas

No se registraron algas o formas coralinas presentes en este tipo de estructuras en ninguno de los transeptos.

Esponjas

Las esponjas tampoco fueron las más prosperas en cuanto a crecimiento y colonización de esta estructura; solo el transecto RO3 presentó una cobertura de 1,6%, principalmente de la especie *Cliona sp.*; el resto de sitios no presentó cobertura para esponjas en sus fases iniciales.

Desconocidos y otras formas de vida

Entre los “desconocidos y otras formas de vida” se encuentran las Ascidias y los invertebrados marinos como cangrejos, moluscos incrustantes en las rocas como ostiones crustáceos, *Balaunus sp.*, que representan en el RO3 el 3,1%, en el RO7 el 2,2%, el RO1 con 1,8% y RO2 un 2,1%. En los sitios de monitoreo situados en el interior del rompeolas no se registraron presencia de estos grupos.

Por su parte, en la **Figura 12** se muestra la evolución de la colonización de corales en dos sitios del rompeolas, uno interno (RO7) y otro externo (RO2) al mismo, que se han seleccionado para comprobar la evolución en la colonización de los sustratos duros que lo forman.

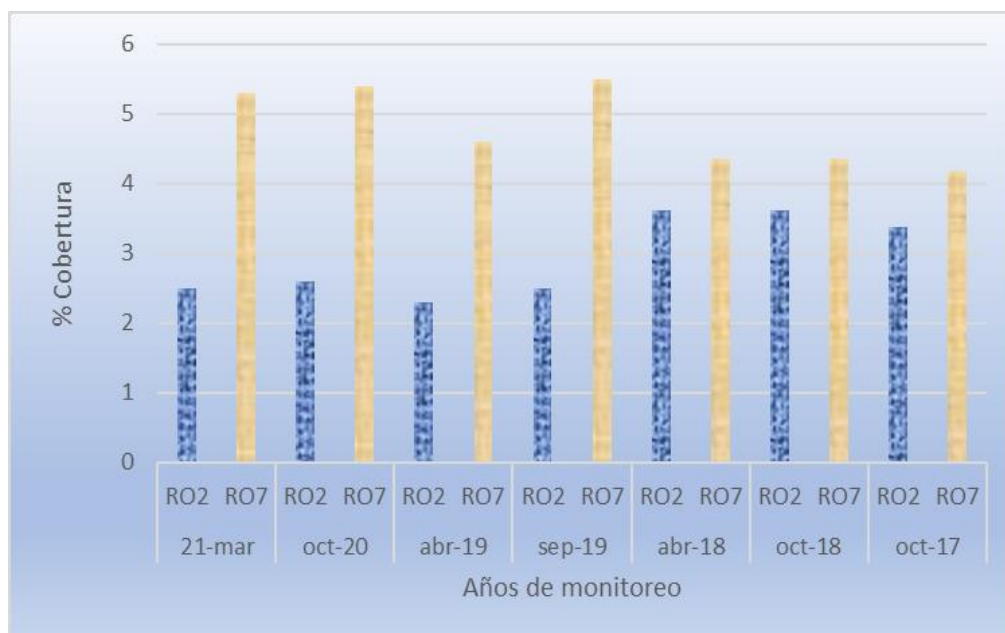
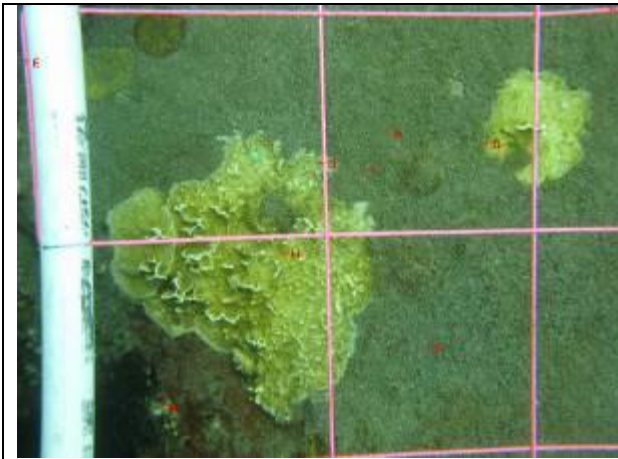


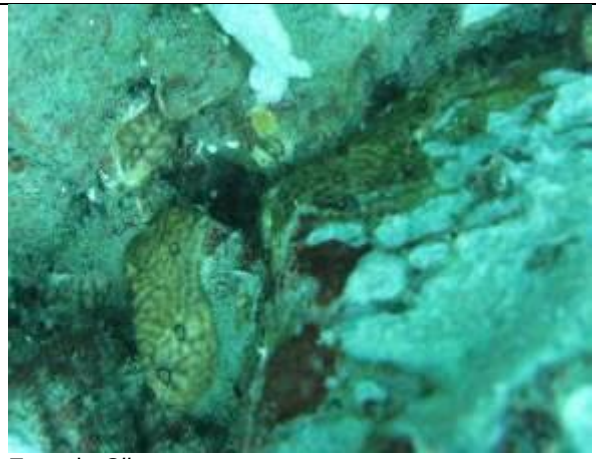
Figura 12. Evolución de la colonización de corales en el rompeolas (RO2: transecto externo; RO7: transecto interno del rompeolas).

Se puede comprobar un diferente comportamiento en la evolución de la colonización de los corales de la parte interna con respecto a la externa del rompoelas. En los primeros años, el aumento de la colonización va parejo en ambos lados, con un incremento mayor en el interno. A medida que el coral crece, se ve sometido a la acción del oleaje y su desarrollo se ve mermado en la parte externa, mientras que en la interna las condiciones de estabilidad del oleaje permiten su continuo desarrollo y aumento de los porcentajes de colonización.

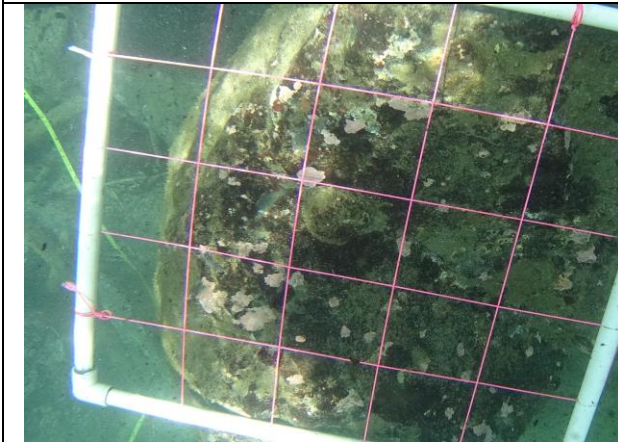
ESPECIES EN EL ROMPEOLAS



Coral *Agaricia agaricites*



Esponja *Cliona* sp



Reclutamiento de algas rojas y Moluscos (ostiones)



Pez León (*Pterois volitans*)

NOTA: fotos correspondientes a la base de datos tomadas durante los monitoreos de los años 2016 al 2021.

5.2. Estudio de la comunidad de peces

Los resultados del estudio de peces en el rompeolas se resumen en el **Cuadro 16**.

CUADRO 14. DENSIDAD DE PECES (IND/M ²) EN EL ROMPEOLAS (RO) INTERNO Y EXTERNO			
FAMILIAS (nombre común)	Especies	RO Externo	RO Interno
Acanthuridae (cirujanos)	<i>Acanthurus bahianus</i> Castelnau, 1855	5	5
	<i>Acanthurus chirurgus</i> (Bloch, 1787)	5	5
Carangidae (jureles)	<i>Carangoides bartholomaei</i> (Cuvier, 1833)	5	0
Scorpididae (peces escorpión)	<i>Pterois volitans</i> (Linnaeus, 1758)	5	5
Haemulidae (roncador)	<i>Anisotremus virginicus</i> (Linnaeus, 1758)	5	5
Kyphosidae (chopas)	<i>Kyphosus sectatrix</i> (Linnaeus, 1758)	5	5
Labridae (labridos)	<i>Bodianus rufus</i> (Linnaeus, 1758)	0	0
	<i>Halichoeres radiatus</i> (Linnaeus, 1758)	0	5
	<i>Halichoeres chierchiae</i>	0	5
	<i>Thalassoma bifasciatum</i> (Bloch, 1791)	5	5
Lutjanidae (pargos)	<i>Lutjanus mahogoni</i> (Cuvier, 1828)	0	5
	<i>Lutjanus synagris</i> (Linnaeus, 1758)	0	5
Pomacanthidae (angeles)	<i>Pomacanthus paru</i> (Bloch, 1787)	0	5
Pomacentridae (damas)	<i>Stegastes variabilis</i> (Castelnau, 1855)	5	5
	<i>Microspathodon chrysurus</i> (Cuvier, 1830)	5	0
Scaridae (loros)	<i>Sparisoma viride</i> (Bonnaterre, 1788)	5	5
Sparidae (cabezón)	<i>Archosargus rhomboidalis</i> (Linnaeus, 1758)	5	5
Sphyrnidae (Barracuda)	<i>Sphyrna barracuda</i> (Edwards in Casteby, 1171)	0	5
Tetraodontidae (tamboril)	<i>Canthigaster rostrata</i> (Bloch, 1786)	400	560
TOTAL		455	560

Para el rompeolas se censó un total de 565 individuos, pertenecientes a 19 especies de peces, incluidos en 19 géneros y 13 familias. De estas especies, 20 fueron observadas asociadas a la sección externa del rompeolas y 11 especies asociadas en la sección interna del rompe olas. Se registraron tres peces cartilaginosos (Chondrichthyes), el resto fueron óseos (Osteichthyes).

Las especies observadas se mantuvieron dentro de similares valores de abundancia, con porcentajes del orden del 0,9-1,1%, siendo las especies más frecuentes *Acanthurus bahianus*, *Carangoides bartolomaei*, *Anisotremus virginicus* y *Pomacanthus paru*. El resto de especies, como *Lutjanus mahogoni*, *Lutjanus synagris*, *Acanthurus chirurgus* o *Pterois volitans*, presentan una abundancia relativa inferior al 0,9%.

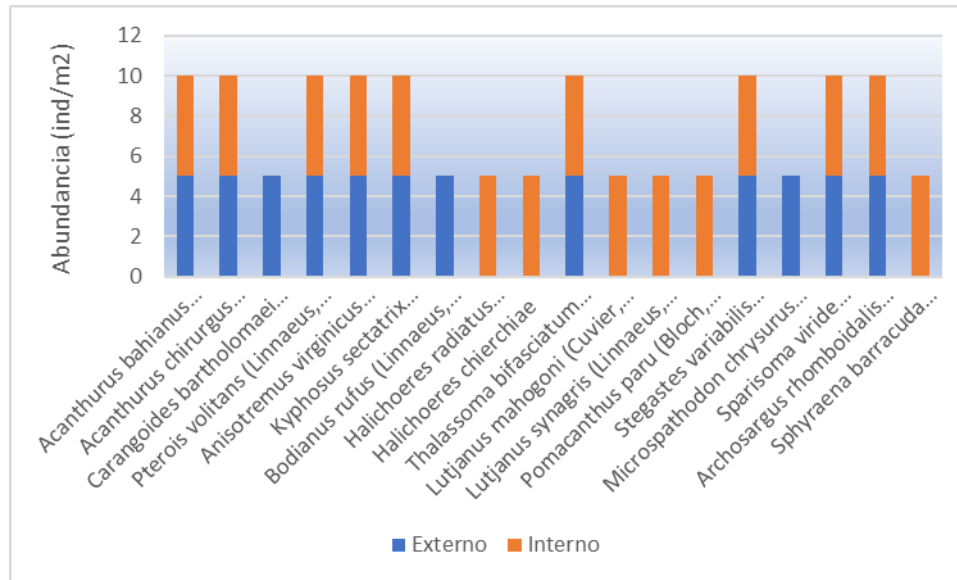


Figura 13. Abundancia Relativa de las Especies de Peces Observadas en las Secciones Externa e Interna del Rompeolas.

En este monitoreo se ha observado, tanto en la parte interna, como externa del rompeolas, a la especie *Canthigaster rostrata*, con porcentajes del 5-10%.

Según los resultados obtenidos, parece clara la mayor presencia y densidad de peces en la parte más externa del rompeolas. Las especies y densidades registradas son similares a fondos naturales de las proximidades.

Por su parte, y de forma comparativa con la parte externa del rompeolas, la parte interna alberga una comunidad de peces más pobre, aunque presenta especies y densidades similares a otras áreas próximas con escasa o nula alteración antropogénica.



Vista general del hábitat artificial creado por el rompeolas, con refugios y nichos potencialmente utilizable por las comunidades de peces y otros organismos.

6. RESULTADOS DEL ESTUDIO DE ICTIOPLANCTON EN EL INTAKE

Durante el monitoreo de marzo de 2021, se ha completado un estudio del ictioplancton que entra en el intake de la central térmica de Punta Rincón, situada en el puerto interior.

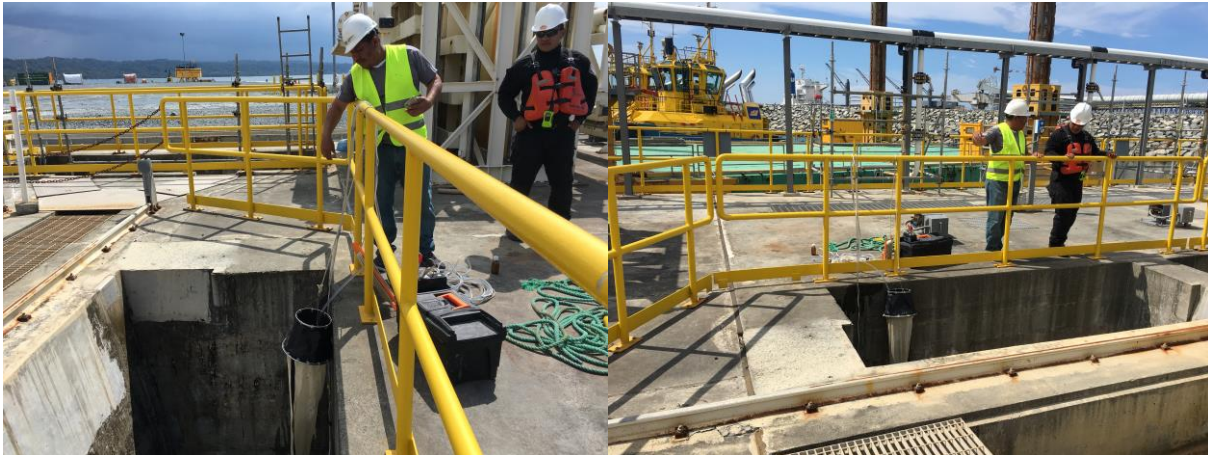


Foto del intake y foto submarina con el detalle de las rejillas en la zona del Puerto en Punta Rincón.

El estudio se ha centrado en la composición y abundancia de huevos y larvas de peces. Desde el punto de vista metodológico, con una bomba sumergible se bombeó durante dos muestreos (IN-1 e IN-2) y durante 10 min, un volumen conocido de agua a través de una red tipo bongo de 500 micras.

Para el cálculo del volumen filtrado, se empleó la siguiente fórmula:

$$VF (m^3) = \text{Caudal bomba (m}^3/\text{s)} \times \text{tiempo bombeo (s)}$$

Una vez analizada las muestras, los valores independientes de larvas y huevos se estandarizaron a un volumen de 10 m² de superficie marina teniendo en cuenta las recomendaciones de Smith y Richardson (1978). Los resultados obtenidos se incluyen en el **Cuadro 17**.

CUADRO 17. DENSIDAD DE HUEVOS Y LARVAS DE PECES (N/ 10M ²) EN EL INTAKE			
CÓDIGO MUESTRA	HUEVOS Ind/m ³	LARVAS Ind/m ³	COMPOSICIÓN DE PRINCIPALES ESPECIES EN LAS LARVAS
IN-1	22	15	<i>Acanthurus bahianus</i> (20,2%), <i>Carangoides bartolomaei</i> (19,1%), <i>Lutjanus synagris</i> y <i>Anisotremus virginicus</i> (<10%).
IN-2	25	12	<i>Acanthurus bahianus</i> (24,7%), <i>Carangoides bartolomaei</i> (20,1%), <i>Anisotremus virginicus</i> , <i>Acanthurus chirurgus</i> y <i>Pomacanthus paru</i> (<10%).

Tanto el recuento de huevos, como el de larvas de peces fue relativamente bajo (22-25 ind/m³ para huevos y 12-15 ind/m³ para larvas), con densidades inferiores a las que se pueden encontrar en mar abierto y que, según la bibliografía (Cubillos (2015)¹), se encuentran en el orden de 50-100 ind/m³ para huevos y de 30-50 ind/m³ para larvas en el Caribe.

Por su parte, la composición de especies en las larvas analizadas refleja en cierta medida la composición de peces registrada en los monitoreos en el rompeolas y sitios someros. Destacan las larvas de dos especies *Acanthurus bahianus* y *Carangoides bartolomae*, con porcentajes que llegan al 19-25%. El resto de larvas se corresponden con especies también presentes en la zona, aunque con porcentajes muy bajos e inferiores al 10%.

En otros estudios similares (Cubillos, 2015), en dónde se evaluó el impacto potencial de la mortalidad por succión de huevos de sardina común y anchoveta, debido a la operación de la térmica en Chile Penco- 3/h, se obtuvieron resultados con un promedio anual de 43,82 huevos/m³ y 9,08 larvas/m³ succionados. Al aplicar el modelo, y suponiendo el 100 % de biomasa perdida, la magnitud promedio de la biomasa pérdida huevo-equivalente en un año fluctuó entre 22,2 y 29,95 toneladas de anchoveta, valores equivalentes en biomasa total por año de 266,46 y 359,38 toneladas de anchoveta. En este trabajo se concluyó que las cantidades removidas por efecto de la operación del proyecto resultan ser insignificantes,

En el caso de la toma en Punta Rincón, al ser menores las densidades de larvas y huevos captados por el intake, al mismo tiempo que el volumen de agua que se capta, el impacto sobre la captura de estos componentes de la biocenosis íctica también resulta ser insignificantes.



Larva de *Acanthurus bahianus*. Fuente: <http://www.coralreeffish.com/larvae>

1 Luis Cubillos, 2015. Estimación del impacto del arrastre de huevos y larvas de sardina común y anchoveta por succión sobre el rendimiento pesquero huevo-equivalente. Proyecto terminal GNL Penco-Lirquén.

7. ANÁLISIS DE INDICADORES AMBIENTALES

Se ha procedido en el presente capítulo al análisis de los indicadores ambientales que se vienen empleando de forma rutinaria en el EEA, como una herramienta para el seguimiento de las condiciones de calidad de los ecosistemas marino-costeros a partir de la integración de diferentes índices de calidad de los grupos biológicos estudiados en el primer monitoreo del año 2021. Todos los indicadores empleados en el EEA se recogen en el **Cuadro 18**, incluyendo la nueva frecuencia de medición y de presentación de informes a partir del año 2018.

CUADRO 15. INDICADORES AMBIENTALES SELECCIONADOS PARA EL SEGUIMIENTO DE LOS ECOSISTEMAS MARINO-COSTEROS				
SUBCOMPONENTE DEL PROGRAMA	INDICADOR	FRECUENCIA DE MEDICIÓN	FRECUENCIA DE INFORMES	PERIDO DE TOMA DE DATOS
Flora y Fauna	Densidad y riqueza de especies del bentos marino	Bianual	Bianual	Abril-marzo y septiembre-octubre
	Índice de diversidad del bentos marino	Bianual	Bianual	Abril-marzo y septiembre-octubre
	Densidad y riqueza de especies de peces	Bianual	Bianual	Abril-marzo y septiembre-octubre
Criterios Físico y Químicos	pH, temperatura, conductividad específica, Oxígeno disuelto, turbiedad, temperatura, metales disueltos, nutrientes en agua y metales en sedimentos	Anual	Anual	Septiembre-octubre
	Índice mg de elemento / Kg de tejido en peces, donde el elemento de interés son los metales pesados	Anual	Anual	Septiembre-octubre

Por consiguiente, para este monitoreo del mes de marzo de 2021 se han empleado solo los indicadores biológicos, es decir, densidad y riqueza del bentos de fondos duro y blando y diversidad y riqueza de las comunidades de peces. Las estaciones T1 y T2 se han comparado con los sitios de referencia de fondos someros de similares características, aunque matizados por su escasa diversidad de hábitat en donde solo aparecen arenas sueltas.

Dado que los resultados obtenidos para cada elemento y variable estudiada están ampliamente desarrollados en los distintos apartados del estudio, con el fin de resumir e interpretar estos resultados de la forma más sencilla posible, se ha utilizado una simbología que indica la tendencia de cada indicador en el tiempo en comparación con las condiciones de referencia y línea de base del año 2015, monitoreos 2016, 2017 y 2018-1, 2019-1, 2019-2 y 2020-1².

La simbología y significado empleado para valorar la tendencia de cada grupo de indicadores ambientales se recoge en el **Cuadro 19**.

CUADRO 16. SÍMBOLOS EMPLEADOS PARA INDICAR LA TENDENCIA DE LOS INDICADORES	
SIMBOLOGÍA	INTERPRETACIÓN DE LA TENDENCIA
↑	El valor del indicador tiende a subir, las condiciones mejoran
→	Se mantiene el valor del indicador, las condiciones no varían
↓	El valor del indicador tiende a bajar, las condiciones empeoran

La comparación en la tendencia de los indicadores para los diferentes años de monitoreo se resume en el **Cuadro 20**.

Teniendo en cuenta el análisis realizado, se puede señalar que la tendencia de los indicadores biológicos comparados entre la línea base y el presente monitoreo 2021 indican variaciones poco significativas entre los mismos, no presentando una variación de los mismos. Los sitios T1 y T2 presentan valores de los indicadores que no varían de forma apreciable con los de los sitios de referencia.

Se destaca que las pequeñas variaciones registradas entre los monitoreos están más relacionadas con el sesgo asociado a este tipo de monitoreo (errores aleatorios y sistemáticos relacionados con las técnicas de monitoreo, época de estudio y condiciones ambientales y oceanográficas) que con los posibles efectos derivados del puerto y de la mina. No obstante, se ha apreciado un incremento en la densidad y composición del bentos blando en todos los sitios, quizá asociado con variaciones en la localización y comportamiento de este tipo de comunidades.

En conclusión, las condiciones generales analizadas han variado de forma muy poco significativa, no apreciándose por el momento una tendencia hacia peores condiciones en la salud de los ecosistemas acuáticos (bióticos) asociados con las actividades de la mina y el puerto.

² La comparación entre los valores brutos obtenidos de cada indicador puede dar lugar a errores debidos a las variaciones en las metodologías empleadas y cambios en las condiciones de los monitoreos.

CUADRO 17. EVOLUCIÓN DE LOS INDICADORES AMBIENTALES EN EL PERÍODO 2015-2021 (1)									
INDICADORES	AÑO DE MONITOREO	R3	R33	R12	R15	R18	CE	T1	T2
INDICADOR 1 (Densidad y riqueza del bentos marino)	2015	→	→	→	→	→	→		
	2016	→	→	→	→	→	→		
	2017	→	→	→	→	→	→		
	2018 1 y 2	→	→	→	→	→	→	→	→
	2019 1 y 2	→	→	→	→	→	→	→	→
	2020-1	↑	↑	↑	↑	↑	↑	→	→
	2021-1	→	→	→	→	→	→	→	→
INDICADOR 2 (Índices del bentos marino)	2015	→	→	→	→	→	→		
	2016	→	→	→	→	→	→		
	2017	→	→	→	→	→	→		
	2018 1 y 2	→	→	→	→	→	→		
	2019 1 y 2	→	→	→	→	→	→	→	→
	2020-1	↑	↑	↑	↑	↑	↑	→	→
	2021-1	→	→	→	→	→	→	→	→
INDICADOR 3 (Densidad y riqueza de peces)	2015	→	→	→	→	→	(1)		
	2016	→	→	→	→	→	(1)		
	2017	→	→	→	→	→	(1)		
	2018 1 y 2	→	→	→	→	→	(1)	→	→
	2019 1 y 2	→	→	→	→	→	(1)	→	→
	2020-1	→	→	→	→	→	(1)	→	→
	2021-1	→	→	→	→	→	(1)	→	→

NOTAS: (1). En este sitio de monitoreo no se realizan estudios de peces. Durante el año 2020 solo se realizó el monitoreo de octubre, debido a las restricciones por la pandemia del Covid-19 que no permitieron completar el monitoreo de abril-marzo de 2020.

8. RESUMEN Y CONCLUSIONES

Los principales resultados obtenidos en el monitoreo de los ecosistemas marino-costeros completado los días 23 al 28 de marzo del año 2021 en la zona de Punta Rincón en MINERA PANAMA, se resumen en los siguientes puntos:

- Los fondos duros profundos ubicados frente a Punta Rincón, poseen un sustrato rocoso variable entremezclado con arena. Las zonas profundas se caracterizan por poseer menor penetración de la luz y moderada turbidez, lo que limita el crecimiento de ciertas especies y contribuye al desarrollo de otras como esponjas y colonias de corales. Por su parte, los fondos duros someros se caracterizan por presentar una alternancia de sustratos duros y parches de arena y una mayor penetración de la luz, aunque están expuestos de forma más intensa a la acción del oleaje y los aportes de agua dulce del continente o los procesos sedimentarios.
- Las comunidades de fondos duros en los dos sitios profundos (R3 y R33) son muy similares, predominando el grupo de las esponjas y seguido de los corales adaptados a las condiciones oceanográficas de este tipo de hábitats. En principio, el sitio R3 ha contado con mayor número de especies (especialmente corales), pero sin ser una diferencia significativa. Entre las especies registradas se puede mencionar como dominantes a las especies *Agaricia agaricites*, *Agaricia undata* y *Sidastrea siderea*. Se trata de especies señaladas como pioneras en cuanto a la colonización de arrecifes de corales, por ser especies típicas de fases en reclutamiento.
- Los fondos duros someros (R12, R15 y R18) presentan comunidades muy parecidas entre sí y diferentes de los fondos duros profundos. Entre los corales destacan *Agaricia agaricites*, *Siderastrea siderea* y principalmente *Porites astreoides*. Entre las esponjas las principales especies identificadas han sido el género *Aplysia*.
- Las gorgóneas o corales blandos o falsos corales de los sitios de monitoreo en fondos duros profundos y someros fueron muy parecidas, destacando las especies *Pseudopterogorgia amaerica* y *Pseudopterogorgia acerosa* fueron las más representativas.
- Los sitios T1 y T2 presentan un sustrato dominado mayoritariamente (100%) por las arenas finas a medias, en las que no se han registrado especies típicas de fondos duros, con la ausencia de corales y otras formaciones biológicas de interés.
- Tanto en los fondos duros someros, como profundos se han registrado con menor cobertura algas y algas coralinas. En los fondos profundos destacan -en cuanto a dominancia y diversidad de especies- las algas rojas (Rodofitas), como *Amphiroa fragilissima* y *A. rigida*, junto a éstas se encuentran *Dictyota menstrualis* y *Halimeda tuna*, que contribuyen a la formación calcárea del fondo rocoso de esta zona. En los fondos

someros destacan las algas *Halimeda tuna*, *Amphiroa fragilissima*, *Chondrophycus papillosus*, *Dictyota menstrualis*, *Padina pavonica* y *Galaxaura obtusata*. El grupo de las otras formas de vida y los desconocidos conformados por especies de invertebrados marinos, se pueden mencionar las especies como Ascidiar, langosta *Panillurus argus*, poliquetos como *Spirobranchus giganteus*, *Echinometra lucunter*, y el Crinoideo *Nemaster grandis*.

- En los fondos blandos, los moluscos resultaron ser el grupo más dominante con 36 taxones registrados y con la dominancia de las especies del género *Cerithium sp.* Dentro de los Poliquetos -segundo grupo en importancia y relevancia-, se registraron cinco taxones, en las que destacan las familias Onuphidae y Glyceridae característicos de fondos blandos y someros. El género *Glycera sp* son poliquetos, que se caracteriza por ser predadora de otras especies y se alimenta de micromoluscos habitando en fondos blandos con alto contenido de materia orgánica. Además, Onuphidae, es una especie que se encuentra en fondos blandos y que pueden resistir a cambios de inestabilidad de los fondos y rico en materia orgánica (Morales et al., 2003).
- Los Sipunculidos -considerados como anélidos- son un grupo especial y muy poco estudiado y ha representado el 3,8% del total de organismos registrados; se encuentran solos o adheridos a conchas muertas. Su distribución puede alcanzar desde unos pocos metros hasta fondos muy profundos (abisales) (Ferrero-Vicente, et al., 2011). Los Crustáceos estuvieron representados por Anfipodos, Mysis y juveniles de cangrejos, colectados de manera fortuita ya que sus formas juveniles y adultas son zooplanctónicas y se distribuyen en la columna de agua. Durante este monitoreo no se registraron equinodermos.
- Los peces registraron una diversidad y composición similar en todos los sitios de estudio. Por ello se puede inferir que las condiciones actuales de los fondos profundos y someros son favorables para la comunidad ictiológica presente en estos sitios, donde juega un papel importante en los procesos de transferencia de energía, materia e información a través de las cadenas tróficas. No se han observado efectos sobre los peces debido a las actividades de la mina o del puerto de Punta Rincón.
- En los fondos duros someros, se registraron un total de 199 individuos; pertenecientes a 21 especies, distribuidas en 16 familias. De estas especies, 60 ind/m² fueron observadas asociadas al sitio R12, 65 ind/m² al sitio R15, 60 ind/m² al sitio R18, 10 ind/m² al sitio T1 y 4 ind/m² al sitio T2. Todos los peces observados fueron óseos (Osteichthyes).
- Las especies más abundantes observadas fueron *Kyphosus sectratrix* (7-8%) y *Carangoides bartholomaei* (7-8%), seguidos del género *Acanthurus* (7-8% para cada especie de este género). En los sitios T1 y T2 se registraron muy pocas especies, solo con la presencia muy esporádica de *Bodianus rufus* y *Pomacanthus paru* (50%) en T1 y solo *Stegastes variabilis* en T2. En estos sitios, la especie *Canthigaster rostrata* (Bloch, 1786) fue muy poco abundante y con bajas densidades, estando ausente en T1 y T2.
- Teniendo en cuenta los resultados del monitoreo de marzo del año 2021, los peces registraron una diversidad y composición similar en todos los sitios de estudio. Por lo

que se puede inferir, que las condiciones actuales de los fondos profundos y someros son favorables para la comunidad ictiológica presente en estos sitios, donde juega un papel importante en los procesos de transferencia de energía, materia e información a través de las cadenas tróficas. No se han observado efectos debido a las actividades de operación/construcción de la Mina o del puerto de Punta Rincón.

- La disminución de la riqueza (nº especies e individuos), así como de la cantidad de individuos e incremento del tamaño de las especies observadas, coinciden con lo observado en diversas latitudes del Caribe, en las cuales la mayor cantidad y diversidad de individuos de menor tamaño, se encuentran en las áreas costeras poco profundas, por ser estas zonas de crecimiento y desarrollo de dichas especies. Por su parte, hacia las aguas más profundas, aparecen especies de mayor tamaño, pero con menor diversidad y número de individuos, pues en estas áreas se registran principalmente especies adultas. Tanto el número como la variabilidad de especies observadas en las aguas profundas fueron mucho más bajas que la observada en los fondos duros someros.
- A partir de los resultados obtenidos, se puede concluir que lo observado representa el estado actual y normal de las poblaciones de peces de los fondos profundos y someros con diferentes hábitats; ya que en dichos lugares no se ha desarrollado una sobrepesca u otros efectos de origen antrópico que pudiera afectarlos, como lo que ha ocurrido en otras áreas del Caribe de Panamá (Jácome, 2001).
- La abundancia relativa del pez león en el presente monitoreo fue de 7-8% para el fondo somero y de 0,1% para el fondo profundo, aunque en este caso hay que destacar la gran influencia porcentual del tamboril en los recuentos. Se observa, con respecto a años anteriores, que la especie se mantiene en los porcentajes y densidades, con pequeñas variaciones. A partir de los datos ya disponibles, se puede adelantar que la especie ha llegado a un tamaño poblacional más o menos definido, aunque pueden variar los efectivos entre estaciones debido a factores externos (alimento, depredación, etc).
- Se ha registrado una progresiva colonización por grupos biológicos de las rocas del rompeolas en su parte más externa que parece se va afianzando con el tiempo –como así se observó en monitoreos anteriores–, con la presencia de corales y primeras formas de esponjas. En la parte interna, menos expuesta y dentro de la zona de abrigo del rompeolas, esta colonización todavía es incipiente, aunque se aprecian signos de implantación de colonias de corales.
- La comunidad de peces en el rompeolas presenta un número significativo de peces y densidades, comparables a las registradas en el estudio marino-costero. Se aprecia una clara diferencia entre los valores de abundancia (densidad) y los índices de diversidad de la parte externa de la interna, con una comunidad mejor estructurada y más diversa en los transeptos expuestos a mar abierto. No obstante, la comunidad de peces en el interior del rompeolas se puede considerar de alto valor ambiental, con especies y densidades propias de aguas litorales del Caribe.

- Los resultados obtenidos -al igual que los registrados en años anteriores-, indican que el rompeolas sirve como hábitat para las diferentes comunidades biológicas, contribuyendo a que aparezca en la zona del puerto una mayor riqueza y abundancia de especies bentónicas y pelágicas litorales.
- Se ha completado un estudio del ictioplancton que entra en el intake de la central térmica de Punta Rincón, situada en el puerto interior. El estudio se ha centrado en la composición y abundancia de huevos y larvas de peces. Tanto el recuento de huevos, como el de larvas de peces fue relativamente bajo, con densidades inferiores a las que se pueden encontrar en mar abierto. Por su parte, la composición de especies en las larvas analizadas refleja en cierta medida la composición de peces registrada en los monitoreos en el rompeolas y sitios someros. Abundan las larvas de dos especies *Acanthurus bahianus* y *Carangoides bartolomae*, con porcentajes que llegan al 40-45%. El resto de larvas se corresponden con especies también presentes en la zona, aunque con porcentajes bajos.
- Se ha procedido al análisis de los indicadores ambientales que se vienen empleando de forma rutinaria en el EEA para valorar cómo cambian los resultados de los diferentes elementos ambientales considerados (bentos marino y peces). De esta forma, con el fin de resumir e interpretar estos resultados de la forma más sencilla posible, se ha utilizado una simbología que indica la tendencia de cada indicador en el tiempo en comparación con las condiciones de referencia y la línea de base del año 2015.
- La tendencia de los tres indicadores biológicos comparados entre la línea base del 2015 y monitoreos de los años 2016, 2017, 2018, 2019 y 2020 y del presente monitoreo 2021 indican variaciones poco significativas entre los mismos. En este sentido, se destaca que las condiciones generales y biológicos analizados han variado muy poco con respecto a los años anteriores, no apreciándose por el momento una tendencia hacia peores condiciones en la salud de los ecosistemas marino-costeros (bióticos) asociados con las actividades de operación de la Mina y el puerto.

9. BIBLIOGRAFÍA

PECES

ALLEN, G.R. 1985. Snappers of the world. An annotated and illustrated catalogue of lutjanid species known to date. FAO Fish Synopsis 6(125): 1-208.

ANAM. 2008. RESOLUCIÓN No. AG-0051-2008 “Por la cual se reglamenta a las especies de fauna y flora amenazadas y en peligro de extinción, y se dictan otras disposiciones”. Gaceta oficial No. 26013 del 7 de abril de 2008.

BOHLKE, J.E. & C.G. CHAPLIN. (2 ed.). 1993. Fishes of the Bahamas and Adjacent Tropical Watersn. The Academy of Natural Sciences of Philadelphia, University of Texas Press, USA, 771 pp.

BUSSING, W.A. 1987. Peces de las Aguas Continentales de Costa Rica. Editorial de la Universidad de Costa Rica, San José, 271 p.

BUSSING, W.A. 1998 (2 ed.) Peces de las Aguas Continentales de Costa Rica. Editorial de la Universidad de Costa Rica. Rev. Biol. Trop. vol. 46, supl. 2: 1-468.

CARPENTER, K.E. (ed.). 2002a. The living marine resources of the Western Central Atlantic. Volume 2: Bony Fishes part 1 (Acipenseridae to Grammatidae). FAO Species Identification Guide for Fishery Purposes and American Society of Ichthyologists and Herpetologists Special Publication No. 5. Rome, FAO pp 601-1374.

CARPENTER, K.E. (ed.). 2002b. The living marine resources of the Western Central Atlantic. Volume 3: Bony fishes part 2 (Opistognathidae to molidae), sea turtles and marine mammals. FAO Species Identification Guide for Fishery Purposes and American Society of Ichthyologists and Herpetologists Special Publication No. 5. Rome, FAO p 1375-2127.

CERVIGON, F. 1966. Los Peces Marinos de Venezuela. Tomo I y II. Fundación La Salle de Ciencias Naturales, Caracas. 1-951 pp.

CERVIGON, F. & W. FISCHER. 1979. INFOPESCA: Catálogo de Especies Marinas de Interés Económico Actual o Potencial para América Latina. Parte I- Atlántico Centro y Suroccidental. FAO/UNDP, SIC/79/1, Roma, 372 pp.

CERVIGON, F., R. CIPRIANI, W. FISCHER, L. GARIBALDI, M. HENDRICKX, A.J. LEMUS, R. MARQUEZ, J.M. POUTIERS, G. ROBAINA & B. RODRIGUEZ. 1992. Fichas FAO de identificación de las especies para los fines de la pesca. Guía de Campo de las Especies Comerciales Marinas y de Aguas Salobres de la Costa Septentrional de Sur América. Preparado con el financiamiento de la Comisión de Comunidades Europeas y de NORAD. Roma, FAO, 1992. 513 pp.

CHRISTOPHER R.B., & OLDEN, J.D. 2011. Multi-scale habitat occupancy of invasive lionfish (*Pterois volitans*) in coral reef environments of Roatan, Honduras. Aquatic Invasions 6 (3): 347–353.

COLLETTE, B.B. & C. E. NAUEN. 1983. Scombrids of the world. An annotated and illustrated catalogue of tunas, mackerels, bonitos and related species know to date. FAO Dish Synopsis 2(125): 1-137.

FISCHER, W. (ed.). 1978. FAO Identification Sheets for Fishery Purposes: Western Central Atlantic (Fishing Area 31), Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, vol. 1-7: pag. var.

FROESE, R. & D. PAULY. (ed.). 2013. FishBase, World Wide Web electronic publication. www.fishbase.org, versión (04/2013).

HEEMSTRA, P.C. & J.E. RANDALL. 1993. Groupers of the world (Family Serranidae, Subfamily Epinephelinae). An annotated and illustrated catalogue of the grouper, rockcod, hind, coral grouper and lyretail species known to date. FAO Fisheries Synopsis 16(125): 1-382.

HUMANN, P. 1997. (3ra. ed.). Reef Fish Identification: Florida, Caribbean, Bahamas. Paramount Miller Graphics Inc., Florida, 396 pp. + app.

JÁCOME, G. 2001. La pesca y el deterioro de los arrecifes en el Caribe y Panamá. Pp. 200-206. En: S. Heckadon-Moreno (Editor). Panamá: Puente Biológico. Instituto Smithsonian de Investigaciones Tropicales, Panamá, 233 p.

MEEK, S.E. & S.F. HILDEBRAND. 1923. The Marine Fishes of Panama. Field. Mus. Nat. Hist. Zool. Ser. Vol. XV (215): 1-330.

MEEK, S.E. & S.F. HILDEBRAND. 1925. The Marine Fishes of Panama. Field. Mus. Nat. Hist. Zool. Ser. Vol. XV (226): 331-708.

MEEK, S.E. & S.F. HILDEBRAND. 1928. The Marine Fishes of Panama. Field. Mus. Nat. Hist. Zool. Ser. Vol. XV (249): 709-1045.

PERRY, J.A. & S.D. PERRY. 1974. Los Peces Comunes de la Costa Atlántica de Costa Rica. Universidad de Costa Rica, Departamento de Biología, Serie Ciencias naturales No. 7, 225 p.

PLAN DE ACCIÓN DE BIODIVERSIDAD (PAB). Minera Panamá. S.A. Versión 2.0. Junio de 2011. 264 pp.

RANDALL, J.E. 1968. Caribbean Reef Fishes. T.F.H. Publications Inc., Neptune City, N.J., 318 pp.

SCHOFIELD, P. 2009. Geographic extent and chronology of the invasion of non-native lionfish (*Pterois volitans* [Linnaeus 1758] and *P. miles* [Bennett 1828]) in the Western North Atlantic and Caribbean Sea. *Aquat Invasions* 4:473–479.

FONDOS DUROS

Calder, D.R. and L. Kirkendale. 2005. Hydroids (Cnidaria, Hydrozoa) from shallow-water environments along the Caribbean coast of Panama. *Caribbean Journal of Science* 41: 476-491.

Collin, R., M. C. Diaz., J. Norenburg., R.M. Rocha, J.A. Sanchez., A. Schulze, M. Schwartz and A. Valdés. 2005. Photographic identification guide to some common marine invertebrates of Bocas del Toro, Panama. *Caribbean Journal of Science*. Vol. 41(3): 367-638. Gingsbur R. 1999. <http://www.agrra.org/updates/metodo.html>.

Humann, P. and N. Delpachach. 2006. Reef Fish Identification – Florida, Caribbean, Bahamas. 3rd Edition. New World Publications, Inc. USA. 480 pp. STRI Bocas Data Base, 2012. (www.stri.org).

Kohler, K.E. and S.M. Gill, 2006. Coral Point Count with Excel extensions (CPCe): A Visual Basic program for the determination of coral and substrate coverage using random point count methodology. Computers and Geosciences, Vol. 32, No. 9, pp. 1259-1269, DOI:10.1016/j.cageo.2005.11.009.

Veron, J.E.N. 2000. Corals of the world. Stafford-Smith, M. (ed). Australian Institute of Marine Science. Volumen I. 463 p.

Zea, Sven. 1998. Estado actual del conocimiento en Sistemática de Esponjas Marinas (Poríferas) del Caribe Colombiano. Boletín Ecotrópica: Ecosistemas Tropicales N° 33: 45-59.

BENTOS MARINO

Abbott, R. T. 1954. American Shells. D. Van Nostrand company, Inc. 541 pp.

Fauchald, K. 1984. Preface. En Taxonomic Guide to the Polychaetes of the Northern Gulf of Mexico. Eds. J. M. Uebelecker & P. G. Johnson. Mobile: Barry A. Vittor and Associates, págs. iv-v.

Ferrero-Vicente, L.M. et al., 2011. Soft-bottom sipunculans from San Pedro del Pinatar (Western Mediterranean): influence of anthropogenic impacts and sediment characteristics on their distribution. Animal Biodiversity and Conservation. 34, 101-111.

Garcés, H. 1994. El Bentos Marino. Scientia Edición Especial. 111-117.

Gray, J.S. 1981. The ecology of marine sediments. Cambridge University Press. London. 185 pp.

Keen, M. 1971. Sea Shells of Tropical West America. Stanford, California. 1000 pp.

Levinton, J. 1982. Marine Ecology. Printice Hall Inc. New York. U.S.A. 526 pp.

Liñeros, I. 1997. Poliquetos Bénticos de Venezuela. Instituto Oceanográfico de Venezuela, Universidad de Oriente. Cumaná. Pp. 148.

Morales- N. A. G., D. E. Alston & A. Cabarcas. 2003. Preliminary effects of open-ocean cages on benthic marine invertebrate populations. April 3, 2003. VIII Sigma Xi Poster Day.

Rodríguez, G. 1980. Los Crustáceos del Caribe Venezolano. Instituto Venezolano de Investigaciones Científicas, Caracas. 494 pp.

SALAZAR-VALLEJO, S.I., J.A. DE LEÓN-GONZÁLEZ Y H. SALAICES-POLANCO. 1989 (1988). Poliquetos (Annelida: Polychaeta) de México. Libros, Universidad Autónoma de Baja California Sur, La Paz, 212 p.

Villalaz, J., C., A. Vega., J. Ávila & J. A. Gomes. 2002. Análisis Temporal de Macroinvertebrados Bentónicos en Playa el Agallito, Chitré. Tecnociencia. Vol.4. 2:111-126.

Warwick, R. & M. Ruswahyuni. 1987. Detection of pollution effects on marine macrobenthos: Further evaluation of the species abundance- biomass method. Mar. Biol., 95: 193-200.